

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“ КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних  
виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

**освітнього ступеня «магістр»**

**з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування**

**освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних  
та целюлозно-паперових виробництв**

**на тему: Розроблення мембранного апарата та теплообмінника для  
модернізації гібридної дистиляційно- мембранної установки  
опріснення води**

**КИЇВ – 2019**

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 13   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

\_\_\_\_\_ Я.М.Корнієнко

(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**

**освітнього ступеня «магістр»**

**в спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування

**освітня програма (спеціалізація) :** Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

**на тему:** Розроблення мембранного апарата та теплообмінника для модернізації гібридної дистиляційно- мембранної установки опріснення води

**Виконала студентка 6-го курсу, групи ЛН-81мп**

Процюк Ольга Олександрівна

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Керівник дисертації** канд. техн. наук, доцент. С.В. Гулієнко

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Консультанти:**

**охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях**

канд. техн. наук, доц. І.М. Ковтун

\_\_\_\_\_

(підпис)

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 14   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

розробка стартап-проекту

канд. економ. наук, доц. Н.В. Юдіна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

технологія виготовлення деталі «трубна решітка»

канд. техн. наук, ст. викл. Я.Г. Двойнос

\_\_\_\_\_  
(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук, доцент А.Ю. Сазонов

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент**

ніціали)

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 15   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

Освітній ступінь: магістр

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Освітня програма (спеціалізація) : Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я. М. Корнієнко

“ \_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Процюк Ользі Олександрівні

**1. Тема проекту:** Модернізація гібридної установки для знесолення морської води з використанням дистиляції та зворотнього осмосу.

Керівник проекту кандидат технічних наук, доцент Гулієнко С.В.

Затверджена наказом по університету від “01” листопада 2019 р.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 16   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

**2. Термін подання студентом проекту:** 01 грудня 2019р.

**3. Вихідні дані до проекту:** продуктивність установки – 0,3 м/с, температура на вході в теплообмінник – 15 С, пари на виході з теплообмінника – 100 С, температура в теплообміннику – 120 С; масова продуктивність мембраного апарату 5 кг/с, початкова концентрація розчину – 1,2 % мас, кінцева концентрація розчину – 3, 22 % мас, тиск 5 МПа.

**4. Зміст пояснювальної записки:**

а) основна частина розглянути існуючі конструкції теплообміннику та апарату зворотнього осмосу, схем очищення води, обґрунтувати вибір конструкцій апаратів; проаналізувати обрані конструкції в порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами; здійснити розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апаратів; виконати складальні креслення теплообмінного апарату, мембраного апарату, трубної решітки.

б) економічна частина: обґрунтувати модернізацію установки та оцінити її ефективність;

в) охорона праці: провести аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з експлуатацією теплообмінного апарату, запропонувати заходи щодо обмеження їх дії, виконати відповідні розрахунки, викласти основні правила безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 17   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування теплообмінного апарату та мембраного апарату; скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;

д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення трубної решітки, виконати розрахунки режимів різання, розробити пристрій для свердління.

**5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):** технологічна схема установки – А1, кресленик складальний теплообмінного апарату – А1, кресленик складальний корпусу теплообмінного апарату, кресленик складальний мембраного апарату – А1, корпус мембраного апарату – А1, схема автоматичного керування – А1, кондуктор для свердління трубної решітки – А1, трубна решітка теплообмінного апарату – А2 технічної ідеї патенту – А3, плакати наукової частини – 2А1.

## 6. Консультанти розділів проекту:

| Розділ  | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---|---|----------------|------------------|
|   |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | Ковтун І. М.                              |                |                  |
| Розроблення стартап проекту                       | Юдіна Н.В.                                |                |                  |
| Технологія виготовлення кришки підшипника вальців | Двойнос Я. Г.                             |                |                  |

|   |               |  |  |
|---|---------------|--|--|
| Автоматичний контроль і<br>керування процесом | Сазонов А. Ю. |  |  |
|---|---------------|--|--|

**7. Дата видачі завдання:** 05 вересня 2019 р.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 19   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту  | Строк виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1     | 2  | 3                              | 4        |
| 1     | Переддипломна практика. Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Добір матеріалів. Складання звіту з практики. Виконано складальні креслення: теплообмінного апарату – А1, мембранного апарату – А1. | 01.09.2019                     |          |
| 2     | Патентне дослідження. Формування ідеї модернізації. Обґрунтування економічної доцільності нової машини.  | 15.09.2019                     |          |
| 3     | Обґрунтування актуальності проекту. Опис установки. Схема установки. Вибір та опис теплообмінного апарату, мембранного апарату. Технічна характеристика апаратів.  | 20.09.2019                     |          |
| 4     | Параметричні розрахунки: визначення основних розмірів апаратів. Розрахунок товщини стінок апаратів.  | 10.10.2019                     |          |
| 5     | Розробка складальних креслень апаратів та їх складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апаратів.   | 19.10.2019                     |          |
| 6     | Розрахунки на міцність. Розробка супроводжуючих документів. Виконання схем.  | 05.11.2019                     |          |
| 7     | Консультації відповідно до графіку з питань охорони праці, економіки, технології машинобудування, автоматизації, автоматизації процесу.  | 10.11.2019                     |          |
| 8     | Уточнення графічної частини проекту та специфікації  | 15.11.2019                     |          |
| 9     | Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформлення. Підготовка до захисту. Складання плану викладення доповіді, окремих питань.                                       | 20.11.2019                     |          |

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 20   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



|    |                            |            |  |
|----|----------------------------|------------|--|
| 10 | Попередній захист проекту. | 02.12.2019 |  |
|----|----------------------------|------------|--|

|    |   |            |   |
|----|---|------------|---|
| 1  | 2   | 3          | 4 |
| 11 | Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відгуку. Підготовка до захисту. | 09.12.2019 |   |

**Студент** \_\_\_\_\_ О. О. Процюк  
(підпис)

**Керівник дипломного проекту** \_\_\_\_\_ С. В. Гулієнко  
(підпис)

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 21   |

## РЕФЕРАТ

УДК 66. 663.635.048

«Модернізація гібридної установки для знесолення морської води з використанням дистиляції та зворотнього осмосу» / НТУУ «ім. Ігоря Сікорського КП»; Керівник Гулієнко С.В. – К.2019. – 177с.: іл.23. Виконавець. Процюк О.О.

Робота складається з вступу та восьми розділів. Загальний обсяг роботи 142 аркушів основного тексту, 23 ілюстрація, 18 таблиць, переліку посилань з 18 найменувань та 6 додатків.

Метою роботи є модернізація мембранної установки для знесолення морської води. Спроектована установка дозволяє очищати воду від шкідливих компонентів.

Наукова частина дисертації включає визначення впливу шару розділюваного розчину на величину опору шару концентраційної поляризації, а також визначення селективності мембран по цільовим компонентам.

Об'єкт дослідження – явище концентраційної поляризації та селективність мембран Предмет дослідження – вплив складу розділюваного розчину на величину опору шару концентраційної поляризації. що включає визначення селективності мембран за цільовим компонентом.

Проектна частина дисертації включає вісім креслень і плакати: креслення теплообмінного апарату, корпусу теплообмінника, мембранного апарату, корпусу мембранного апарату, автоматизації технологічної схеми, технологічної схеми процесу, технічної частини виготовлення деталі,

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 22   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

креслення станку для вироблення деталі, плакатів з науковою частиною і плакату з патентною новизною....

В роботі спроектовано систему зворотнього осмосу. Виконано необхідні параметричні розрахунки та розрахунки на міцність.

ТЕПЛООБМІННИК, МЕМБРАННИЙ АПАРАТ, КОРПУС,  
МЕМБРАНА, ТРУБНА РЕШІТКА.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 23   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## РЕФЕРАТ

УДК 66. 663.635.048

Модернизация гибридной установки для обессоливания морской воды с использованием дистилляции и обратного осмоса »/ НТУУ« им. Игора Сикорского КПИ » Руководитель Гулиенко С.В. - К.2019. - 177с .: ил.23. Исполнитель. Процюк О.О.

Работа состоит из введения и восьми разделов. Общий объем работы 142 листов основного текста, 23 иллюстрации, 18 таблиц, списка ссылок из 18 наименований и 6 приложений.

Целью работы является модернизация мембранной установки для обессоливания морской воды. Спроектированная установка позволяет очищать воду от вредных компонентов.

Научная часть диссертации включает определение влияния слоя разделяемого раствора на величину сопротивления слоя концентрационной поляризации, а также определения селективности мембран по целевым компонентам.

Объект исследования - явление концентрационной поляризации и селективность мембран Предмет исследования - влияние состава разделяемых раствора на величину сопротивления слоя концентрационной поляризации. включающий определение селективности мембран по целевому компонентом.

Проектная часть диссертации включает восемь чертежей и плакаты: чертежи теплообменного аппарата, корпуса теплообменника, мембранного аппарата, корпуса мембранного аппарата, автоматизации технологической схемы, технологической схемы процесса, технической части изготовления

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 24   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

детали, чертежи станка для выработки детали, плакатов по научной части и плаката с патентной новизной.

В работе спроектировано систему обратного осмосу. Выполнены необходимые параметрические расчеты и расчеты на прочность.

ТЕПЛООБМЕННИК, МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ, КОРПУС,  
МЕМБРАНА, ТРУБНЫЕ РЕШЕТКИ.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 25   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## Abstract

UDC 66. 663.635.048

"Development of membrane apparatus and heat exchanger for modernization of hybrid distillation and membrane water desalination plant "; Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Thesis supervisor – Head Gulienko SV - K 2019. – 177p .: il. – Developer – O.O. Protsiuk - References: 116 p.

The work consists of an introduction and eight sections. The total volume of work is 142 sheets of body text, 23 illustrations, 18 tables, a list of references of 18 titles and 6 appendices.

The purpose of the work is to modernize the membrane installation for the desalination of seawater. Designed installation allows purification of water from harmful components.

The scientific part of the dissertation includes determination of the effect of the layer of separable solution on the magnitude of the resistance of the layer of concentration polarization, as well as determination of the selectivity of membranes by the target components.

The object of the study is the phenomenon of concentration polarization and the selectivity of the membranes. The object of study is the influence of the composition of the separated solution on the magnitude of the resistance of the layer of concentration polarization. which includes determining the selectivity of the membranes by the target component.

The design part of the dissertation includes eight drawings and posters: drawings of the heat exchanger, the heat exchanger housing, the membrane apparatus, the membrane apparatus housing, automation of technological scheme,

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 26   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

the process flow diagram, the technical part of manufacturing a part, the machine drawing for production of parts, posters which represent scientific part of work.

The system of reverse osmosis is designed in the work. Parametric and strength calculations are required.

HEAT EXCHANGER, MEMBRANE APPARATUS, HOUSING  
MEMBRANE, PIPE GRILL.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 27   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“ КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних  
виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

**освітнього ступеня «магістр»**

**з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування**

**освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних  
та целюлозно-паперових виробництв**

**на тему: Розроблення мембранного апарата та теплообмінника для  
модернізації гібридної дистиляційно- мембранної установки  
опріснення води**

**КИЇВ – 2019**

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 28   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

$F$  – площа поверхні мембрани,  $\text{м}^2$ ;

$p$  – тиск, МПа

$R$  – коефіцієнт розділення;

$R_c$  – опір шару забруднень,  $\text{м}^{-1}$ ;

$R_{cp}$  – опір шару зконцентраційної поляризації,  $\text{м}^{-1}$ ;

$R_m$  – опір мембрани,  $\text{м}^{-1}$ ;

$R_T$  – загальний опір перенесенню речовини через мембрану,  $\text{м}^{-1}$ ;

$t$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

Критерії (числа) подібності:

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Sc$  – критерій Шмідта;

$Sh$  – критерій Шервуда.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 29   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## ВСТУП

Перед людством стала проблема чистої води. Все більше і більше людей страждають від нестачі чистої води. Навіть в Україні, де населення не обмежено джерелами чистої води, виникає проблема її очищення.

Нестача чистої води може викликати проблеми для всього людства. Швидкий зріст населення, нерівномірне розподілення водних ресурсів, зміна клімату, індустріальне забруднення та швидкі ритми урбанізації – все це впливає на право кожної людини мати доступ до чистої води. В Україні, попри наявність розвиненої річкової системи та велику кількість природних джерел, також спостерігаються певні проблеми. Жителі великих міст першим можуть відчувати на собі цю проблему.

Навіть ту воду, що ми звикли пити з свердловин чи колодязів далеко не завжди може бути чистою. Тому необхідно дбати про чисту воду у своїй оселі.

Сучасний ринок очищення води може запропонувати велику кількість і різноманіття очисних систем. Такі системи ми можемо використовувати навіть у себе вдома і в промислових масштабах.

Мембранні процеси є поширеними оскільки вони здатні зменшити кількість обладнання, переробити технологічну воду і відновити цінні продукти для інших потреб.

Одним з основних обмежень в роботі мембранного обладнання є явища концентраційної поляризації та утворення неорганічних та органічних осадів на поверхні мембрани. Концентраційна поляризація – це явище, що полягає у підвищенні концентрації розчинів біля поверхні мембрани. Оскільки методи визначення опору шару концентраційної поляризації в джерелах не було виявлено то тема є актуальною задачею.

Завдання на магістерську дисертацію одержане в вересні 2019 року під час проходження переддипломної практики на Інститут газу НАН України.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 30   |

## 1 Призначення, область використання установки

### 1.1 Опис технологічного процесу

Для опріснення морської води можна використовувати різні методи, однак одним з найбільш ефективних є гібридний процес, що включає багатостадійну дистиляцію та зворотній осмос. Перевагами такого методу є менші вимоги до мембран, вища продуктивність, відсутність необхідності у другій стадії зворотного осмосу, і довший робочий цикл мембрани, менші вимоги до якості сировини.

Розглядувана гібридна установка опріснення морської води включає секцію дистиляції продуктивністю 460,212 тон на добу та установку зворотного осмосу з такою ж самою продуктивністю.

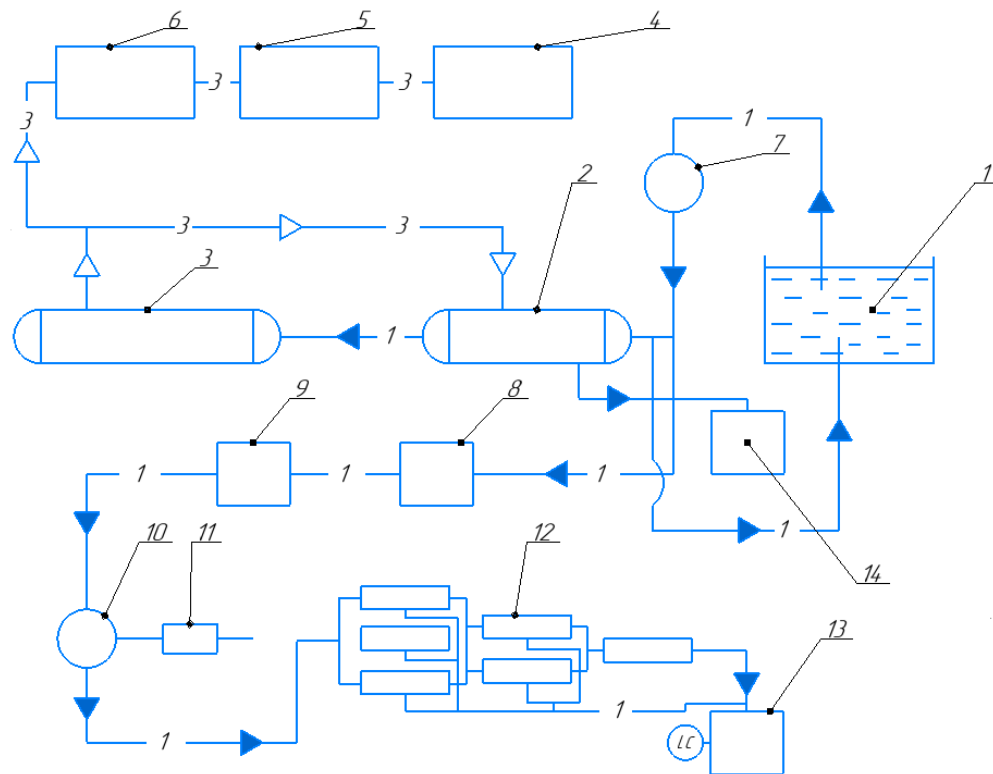
Секція дистиляції даної установки має продуктивність 7 мільйонів імператів галонів яка поєднується з установкою зворотнього осмосу з такою продуктивністю [1]

Схема розглядуваної установки знесолення морської води зображена на рисунку 1.1

Технологічна схема для знесолення морської води працює наступним чином: вхідна морська вода частково подається з резервуару 1 за допомогою насосу 7 і далі проходить на теплообмінник 2 і на фільтр 8. В теплообміннику 8 морська вода нагрівається її перетворюється на пару і конденсат. Пара іде до бойлера 6, а залишки води ідуть до теплообмінника 3, де вода довиварюється і іде до бойлера 6. Пара із бойлера 6 іде на турбіни 5, де пара змушує обертатися турбіни і передавати парову енергію на генератор 4. Інша частина води іде до фільтра 8 де морська вода проходить попередню очистку води. Далі із фільтра 8 морська вода поступає на другу стадію попередньої обробки до вугільного фільтра 9, де вона проходить остаточну очистку і за допомогою насосу 10 і двигуна 11 очищена морська вода поступає на мембрану установки 12. Після проходження мембранної установи 12 формується пермеат який після

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 31   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

проходження фільтра поступає на споживання або технологічне використання, ретентат зливається в дренажну систему або іде на утилізацію [2].



1-резервуар з водою; 2-теплообмінник; 3-дистилятор; 4-генератор; 5-турбіни; 6- бойлер; 7-насос; 8-фільтр; 9-вугільний фільтр; 10- насос; 11-двигун; 12-мембрана установка; 13- збірник води; 14- збірник води.

Рисунок 1.1 -Технологічна схема

Основними елементами установки є кип'ятильник, турбіна, дистиляційна установки і установки зворотного осмосу[1].

## 1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

Мембрани зворотнього осмосу являються найефективнішими і найселективнішими мембранами. Це підтверджує коефіцієнт розділення

розчинів. Відсоток речовин, які затримує мембрана зворотнього осмосу становить близько 97-99%.

Найбільш поширені мембрани для зворотнього осмосу є спіральні мембранні модулі. Вони легкі в експлуатації, мають низьку матеріалоемність, високу питому поверхню(близько 300 – 1000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>).

Мембрана працює наступним чином: розчин, який необхідно розділити подається через торець в напірні канали модуля, інша частина розчину проходить крізь мембрану, після чого утворюється пермеат, який потрапляє в центральну трубу вздовж мембрани і відводиться з іншої сторони торця, утворюючи при цьому ретентат. Завдяки такій системі очистки концентрація розчинених речовин в пермеаті зменшується, в ретентаті – збільшується. Між витками рулона мембранного модуля канали утворюються сіткою сепаратору.

Найбільшого поширення набрали рулоновані мембранні модулі [3].

Такі мембранні модулі відрізняються надзвичайно зручною конструкцією. Тонкий робочий шар відносить мембранні модулі рулоного типу до найпродуктивніших типів. До того ж такий тип рулонів найкраще в експлуатації, адже його пори засмічуються рідко.

Важливим апаратом в схемі гібридної установки для знесолення морської води з використанням дистиляції і зворотнього осмосу також є теплообмінник.

В розглядованому теплообміннику відбувається процес нагрівання морської води насиченою водяною парою. Один із теплоносіїв, в нашому випадку морська вода, рухається всередині труб, а пара – в міжтрубному просторі. При цьому в апараті має місце конденсація пари, в наслідок якої можна отримувати досить велику кількість тепла при відносно невеликих витратах пари.

Обрана в даному проекті конструкція має вигляд вертикального одноходового по трубному простору теплообмінника. Кожухотрубний теплообмінник може бути класифікований як рекуперативний теплообмінник

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 33   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

поверхневого типу. Такі апарати найчастіше використовуються для нагрівання та охолодження середовищ з технологічною метою та для утилізації теплової енергії. Найбільш широко такі процеси використовуються в хімічній промисловості та суміжних галузях, зокрема в енергетиці та харчових виробництвах.

Враховуючи, що витрати води мають досить високе значення, а теплоємність та коефіцієнт теплопровідності у середовищ мають середні значення, логічним є припущення щодо необхідності використання великої площі поверхні теплообміну. Отже, в цьому випадку, доцільно застосовувати кожухотрубні теплообмінники. Такий тип апаратів використовують для здійснення теплообміну між рідинами, газами, парами в широких діапазонах температур і тисків. Його переваги: простота виготовлення, дешевизна, надійність в експлуатації, універсальність. Враховуючи, що при великих поверхнях теплообміну, висота теплообмінника може бути достатньо великою, доцільно застосовувати вертикальний одноходовий апарат. Пара, що конденсується, надходить в міжтрубний простір, а вода в трубний простір. Різниця середніх температур теплоносіїв не перевищує тому жорстка конструкція задовольняє умовам роботи апарата і потреби в компенсаторах температурних деформацій немає, що має бути перевірено розрахунком.

Вибір такого типу апарата обумовлений такими перевагами:

- 1) закрыта система циркуляції води;
- 2) менша корозія обладнання;
- 3) більша компактність;
- 4) відносно висока теплова ефективність.

Враховуючи параметри теплоносіїв приймаємо теплообмінник одноходовий, а виходячи з умов монтажу – вертикальний.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 34   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 2 Технічні характеристики основних апаратів установки

Апарат зворотного осмосу

Апарат призначений для одержання очищеної води.

|   |       |
|---|-------|
| Робочий об'єм апарата, м3;                    | 0,091 |
| Поверхня мембран у фільтраційному модулі, м2; | 24    |
| Кількість фільтраційних елементів;            | 3     |
| Поверхня мембран в апараті, м2;               | 70    |
| Робочий тиск в апараті, МПа                   | 5     |
| Робоча температура, °С;                       | 23    |
| Габаритні розміри:                            |       |
| – довжина, мм                                 | 2925  |
| – ширина, мм                                  | 425   |
| – діаметр, мм                                 | 200   |
| Маса, кг                                      | 150.  |

Теплообмінник

Робоче середовище вода.

|  |       |
|--|-------|
| Робочий тиск в апараті, МПа;                 | 0,3   |
| Робоча температура, °С;                      | 120   |
| Об'єм, м                                     | 0,3   |
| Габаритні розміри:                           |       |
| – висота, мм;                                | 7320  |
| – ширина, мм;                                | 1912  |
| – діаметр, мм;                               | 1200  |
| Маса порожнього апарату, кг;                 | 9000  |
| Максимальна маса при гідровипробуваннях, кг. | 14500 |

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 35   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

### 3 Опис та обґрунтування вибраних конструкцій апаратів

#### 3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

Апарати зворотного осмосу найчастіше виготовляються з рулонними модулями, оскільки вони характеризуються високою питомою площею поверхні мембран, а також відносно простотою конструкції. Мембранні модулі складаються з перфорованої трубки, яка знаходиться в центрі, до якої кріпиться мембранний пакет, який складається з двох листових мембран, між якими розміщується дренажний матеріал. Мембранний пакет проклеєний з трьох боків, а четвертим приклеюється до центральної труби. Для створення каналів для руху рідини вздовж мембран використовується сітка-сепаратор. Розділюваний розчин подається з торця модуля і потрапляє в утворені канали. Частина розчинника проникає через мембранну і по спіральному каналу поступає в центральну трубу. Компоненти розчину, що не пройшли крізь мембрану, відводяться з рулонного модуля з іншого торця, як ретантат [3].

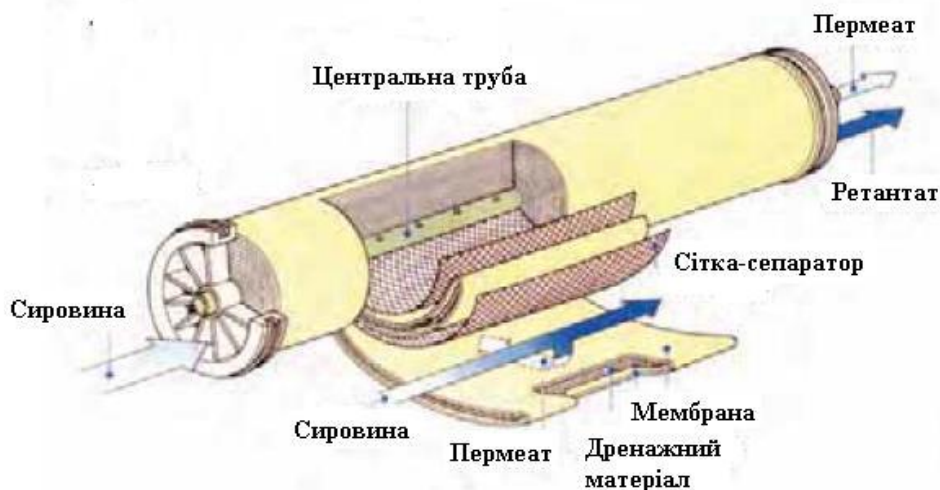


Рисунок 3.1 – Рулонований мембранний модуль

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 36   |



Корпуси мембранних апаратів з рулонованими модулями мають систему колекторів і патрубків, які забезпечують розділене виведення з апарату обох потоків (пермеату та ретентанту) (рисунок 3.2).

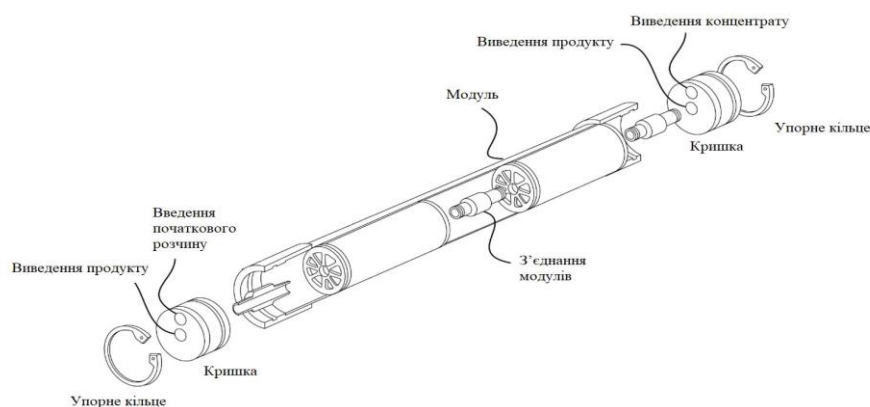


Рисунок 3.2 – Корпус зі спіральними мембранними модулями

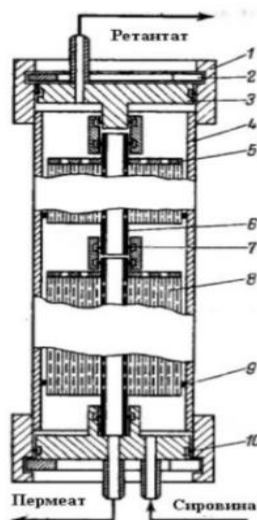
Оскільки площа поверхні мембран в одному апараті (рисунок 3.2) в більшості випадків не достатня, необхідно використовувати декілька апаратів, з'єднаних у каскад кінцевого типу.

Рулоновані модулі встановлюють в корпусах, які сконструйовані з можливістю окремого виведення з апарату ретентату та пермеату (рисунок 3.2 ).

Основною задачею є вибір принципової конструкції теплообмінника, яка б забезпечувала найкращі умови протікання теплових процесів у ньому, реалізувавши при цьому водночас просту та компактність конструкції.

При проектуванні і конструюванні теплообмінного апарата необхідно в максимально можливій степені задовольнити такі вимоги: дотримування умов протікання технологічного процесу; забезпечення більш високого коефіцієнта теплопередачі; забезпечення низького гідравлічного опору апарата; стійкість теплообмінних поверхонь проти корозії; можливість очищення поверхні теплообміну, можливість виготовлення на наявному технологічному обладнанні, економічне використання матеріалів.

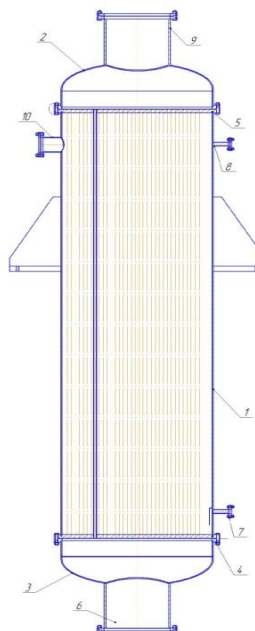
|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 37   |



1 – накидне кільце; 2 – упорне кільце; 3 – кришка; 4 – корпус; 5 – решітка; 6 – труба для виведення пермеату; 7 – кільце; 8 – модуль; 9 – манджета; 10 – кільце

Рисунок 3.3 – Схема апарата рулонованого типу

Конструкція даного теплообмінного апарату представлена на рисунку 3.4



1 – корпус, 2 – кришка, 3 – днище , 4, 5 – трубні решітки, 6 – 10 – штуцера.

Рисунок 3.4 – Конструктивна схема апарату теплообмінного пристрою

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 38   |

На рисунку 3.4 показаний вертикальний кожухотрубний теплообмінник з нерухомими трубними решітками, в яких жорстко закріплені труби. Решітки приварені до кожуха, що забезпечує виключення можливості взаємного переміщення і труб, і кожуха. До кожуха за допомогою болтів і прокладок кріплять кришки. Один з теплоносіїв (вода) рухається по трубах, а інший (морська вода) – в просторі між кожухом і трубами (в міжтрубному просторі). Теплота від одного теплоносія іншому передається через поверхню стінок труб.

Вертикальний апарат встановлюють на опорних лапах. Накладний лист приварюється до корпусу апарата суцільним швом. Зварювання деталей опор між собою виконується суцільним однобічним кутовими або тавровими швами, а опори і опорного листа – двохстороннім кутовим швом.

Обичайка діаметром до 1 м повинна виготовлятися не більше ніж з двома поздовжніми швами. З'єднання апарату з технологічними трубопроводами для введення і вилучення рідких продуктів здійснюється за допомогою штуцерів. Стальні фланцеві штуцери (ОСТ 26-1404-76) складаються з патрубка та фланця, які з'єднуються кутовим зварюванням. Саме на фланцях приєднуються до апарата труби і арматура.

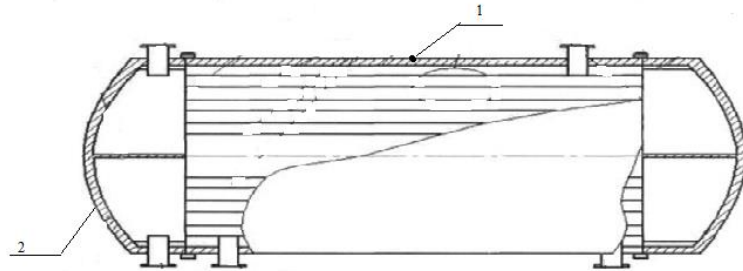
### **3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами**

Кінетика теплообмінних процесів описуються за допомогою коефіцієнта теплопередачі  $K$ . Значення цього коефіцієнта залежить від таких параметрів як швидкість руху середовищ, фізичні властивості рідин, характеристик поверхні теплообміну та каналів, в першу чергу еквівалентний діаметр та наявність турбулізаторів.

Розглядуваний кожухотрубний теплообмінник на рисунку 3.5, використовується для теплообміну між рідкими та газоподібними

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 39   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

середовищами в хімічній промисловості та суміжних галузях промисловості. Переваги такої конструкції дозволяють інтенсифікувати тепловіддачу в трубному просторі. Складність нарізання канавок, через складність доступу різця – є недоліком.

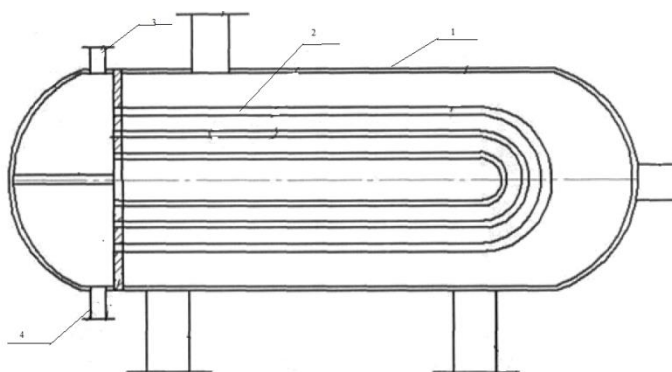


1 – корпус, 2 – кришка

Рисунок 3.5 – Кожухотрубний теплообмінник

Перевагою такої конструкції є підвищення довговічності теплообмінника

Кожухотрубний теплообмінник, проілюстрований на рисунку 3.6, відноситься до області кожухотрубних теплообмінників і може бути використана в технології переробки нафти і газу та в інших технологічних процесах для нагрівання та охолодження рідких і газоподібних середовищ.



1 – корпус; 2 – U-подібні трубки; 3,4 - патрубки

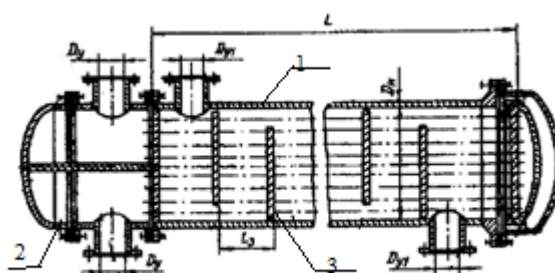
Рисунок 3.6 – Кожухотрубний теплообмінник

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 40   |

Перевагою такої конструкції є зменшення габаритів кожухотрубного теплообмінника, зменшення витрат на монтаж та обслуговування, економія виробничої площі.

Кожухотрубний теплообмінник, проілюстрований на рисунку 3.7, відноситься до області кожухотрубних теплообмінних апаратів, може використовуватись в якості теплообмінників, холодильників, конденсаторів та випарників.

Теплообмінник працює як і звичайний теплообмінний проте завдяки перегородкам, які стоять по довжині трубного простору. Завдяки перегородкам в теплообміннику підвищується інтенсивність теплообміну. Проте це є і недоліком: така конструкція передбачає підвищення гідравлічного опору і ускладнення виготовлення і обслуговування конструкції.



1 – корпус, 2 – кришка, 3 - перегородки

Рисунок 3.7 – Кожухотрубний теплообмінник

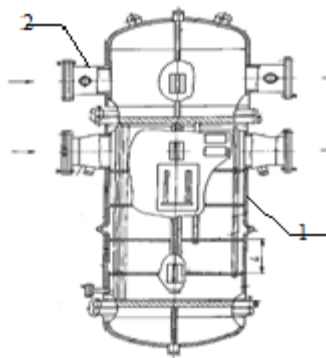
Підвищення ефективності роботи теплообмінника є одною із переваг такої конструкції теплообмінника.

Кожухотрубний теплообмінник, проілюстрований на рисунку 3.8, відноситься до конструкцій теплообмінних апаратів, в якості водо-водяних підігрівачів, та може бути використаний у в системах тепlopостачання.

Кожухотрубний теплообмінник працює наступним чином: маючий кожух з розташованими в ньому теплообмінними трубами, поперечними та

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 41   |

повздовжніми перегородками, трубні решітки, які компенсатор, встановлений на кожусі, маючий внутрішню перегородку, камеру подачі середовища в труби, та відводу із них в камеру повороту середовища, примикаючи до трубних решіток, утворюючи з трубами трубний простір та виконані шарнірно відкритими, патрубки подачі та відводу середовища в міжтрубний простір та камеру подачі середовища, при тому теплоносії можуть рухатися в трубах і міжтрубному просторі, в два чи чотири хода та секціонування, повздовжня перегородка кожуха забезпечені ущільненням.



1 – корпус, 2 – патрубки для вводу середовища

Рисунок 3.8 – Кожухотрубний теплообмінник

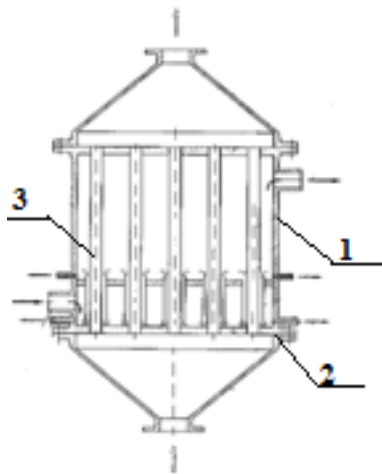
Перевагою такої конструкції є технологічність виготовлення теплообмінника при універсальності його використання та зміні положення його повздовжньої осі, а також відносно менші габарити та металоємність при забезпеченні заданої ефективності роботи.

Кожухотрубний теплообмінник, проілюстрований на рисунку 3.9, відноситься до хімічного та енергетичному машинобудуванню, може бути використаний у кожухотрубних теплообмінних апаратах, переважно використовуючи в якості охолоджуючого середовища циркулюючу в міжтрубному просторі киплячу воду, чи інші середовища з яких може виділятися шлам чи інші суміші.

Задача винаходу – підвищення надійності кожухотрубних

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 42   |

теплообмінників за рахунок виключення під шламової корозії в зоні максимально діючих напружень (нижньої трубної решітки та теплообмінних труб в зоні їхнього встановлення в нижню трубну решітку). Підшламова корозія в зоні максимальних напружень вилучається за рахунок організації циркуляції охолоджуючого середовища, забезпечуючи повне видалення шламу із району нижньої трубної решітки в місцях забивки теплообмінних труб.



1 – корпус, 2 – трубна решітка, 3 - труби

Рисунок 3.9 – Кожухотрубний теплообмінник

Для виконання поставленої задачі кожухотрубний теплообмінник, переважно для охолодження газу, має корпус, дві трубні решітки, в яких закріплені теплообмінні труби, проміжну перегородку, розташовану між трубними решітками, патрубки підводу та відводу охолоджуючої речовини, чохлові труби, відкриті з обох сторін та охоплюючі теплообмінні труби з виникненням кільцевими зазорами між теплообмінними та чохловими трубами, згідно винаходу чохлові труби закріплені в проміжній перегородці та розташовані між останньою та нижніми трубними решітками з виникненням зазорів між своїми торцями та нижньою трубною решіткою.

Перевагою такої конструкції є те, що підшламова корозія в зоні

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 43   |

максимальних напружень вилучається за рахунок організації циркуляції охолоджуючого середовища, забезпечуючи повне видалення шламу із району нижньої трубної решітки в місцях забивки теплообмінних труб.

Отже для вирішення поставленої задачі, а саме для конденсації морської води нам підходить одноходовий кожухотрубний теплообмінник без компенсатора – вертикальний.

В дипломному проекті розглянуті наступні апарати: теплообмінник і апарат зворотнього осмосу.

В таблиці 3.1 наведено порівняння показників теплообмінного апарату з аналогічними технологічними апаратами.

Тепер порівняєм основні показники теплообмінного апарату з аналогами.

Таблиця 3.1 – Порівняння основних показників конструкції теплообмінника з аналогами

| Характеристики                       | Кожухотрубний теплообмінник двоходовий секційний | Теплообмінник з нерухомою трубною решіткою | Пластинчатий теплообмінний апарат |
|--------------------------------------|--|--|-----------------------------------|
| Продуктивність, кг/с                 | 3(1)   | 3(1)                                       | 3(1)                              |
| Тиск, МПа                            | 0,3(0)   | 1,6(1)                                     | 0,2(0)                            |
| Температура, К                       | 450(1)   | 350(0)                                     | 313(0)                            |
| Поверхня теплообміну, м <sup>2</sup> | 63(0)  | 229(1)                                     | 26,4(0)                           |
| Довжина труб апарату, м              | 2(1)   | 1,2(1)                                     | 3(0)                              |
| Сума балів                           | 3  | 4  | 1                                 |



Вище згадані теплообмінники не підходять для розглядання їх в магістерській дисертації. Отже беремо кожухотрубний теплообмінний вертикальний.

Аналогічно робимо розгляд для мембраного парату (таблиця 3.2)

Таблиця 3.2 – Порівняння основних показників конструкції апарату зворотного осмосу з аналогами

| Параметр                        | Зворотній осмос          | Іонний обмін             | Випарювання              |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Продуктивність, кг/с            | 5(1)                     | 5(1)                     | 5(1)                     |
| Якість готового продукту, кг/кг | $1,234 \cdot 10^{-3}(1)$ | $1,357 \cdot 10^{-3}(0)$ | $1,357 \cdot 10^{-3}(0)$ |
| Питомі енерговитрати            | 4897 Дж/кг(1)            | 7600 кДж/кг(0,5)         | 2200 кДж/кг(0)           |
| Неперервність дії               | Так(1)                   | Ні(0)                    | Так(1)                   |
| Додаткове обладнання            | Так(0)                   | Так(0)                   | Ні(1)                    |
| Габаритні розміри, мм           | H=2925,<br>D=200(1)      | H=800,<br>D=600(0,5)     | H=13000,<br>D=800(0)     |
| Сума балів                      | 5                        | 2                        | 3                        |

Отже, проаналізувавши всі способи очищення води ми можемо побачити ряд переваг і недоліків всіх способів очищення води.

Для дипломного проекту ми обираємо для розгляду метод зворотнього осмосу.

Ми застосуємо зворотній осмосом, бо ми розглядаємо низькомолекулярні розчинені речовини(солі NaOH, CuSO<sub>4</sub>). Цей метод заснований на особливих властивостях матеріалу мембрани, яка здатна пропускати розчинник і затримувати розчинені речовини. Таке розділення може проходити при коливаннях температур, які особливо не впливають на результати. Інші методи дуже суттєво залежать від фазових перетворень температур. Також апарат

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 45   |

зворотнього осмосу потребує малу енергозатратність і простоту самої апаратної установки що ефективно впливає на економічну доцільність методу. Однією із найважливіших переваг методу зворотнього осмосу є те що цей метод не накопичує всередині себе домішки, це виключає попадання їх у очищену воду.

### 3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

Для вибору матеріалу конструкції було враховано декілька пунктів, таких як:

- область використання;
- місце знаходження системи апаратів;
- температурне середовище.

Використовуємо технічні характеристики і вимоги апаратів для вибору матеріалів, які б задовільняли б умовам апаратів.

Розглянемо обидва апарати, теплообмінник і апарат зворотнього осмосу. Отже, обидва наших апарати використовуються для очищення морської води, знаходяться на відкритому просторі то і їх матеріал має бути відповідним. Великий вплив має корозія, бо її виникнення значно ускладне очистку, обслуговування та дезінфекцію наших апаратів, що негативно вплине на підтримку робочих умов. Врахуємо що тиск в теплообміннику 0,3 МПа, а апарату зворотнього осмосу становить 5МПа, ми обираємо сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.

Цей матеріал повністю підходять до наших робочих умов і дає можливість нам використовувати наші апарати в наших робочих умовах. Для виготовлення мембран використовуємо матеріал ацетат целюлози. Тип мембрани МГА-100.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 46   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

### 3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки

Для написання магістрської дисертації було проведено патентний пошук для перевірки патентної чистоти конструкцій теплообмінника і апарату зворотнього осмосу.

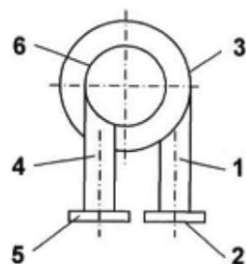
Для магістрської дисертації були обрані наступні патенти[4].

Даний патент[4] пропонує новий апарат (рисунок 3.10) теплообмінного типу, що містить з'єднані між собою за допомогою тангенційних патрубків з фланцями зовнішні труби й розміщені в них і з'єднані між собою внутрішні труби, який відрізняється тим, що внутрішні труби з'єднані між собою за допомогою тангенційних патрубків з фланцями.[4]

Теплообмінник складається з двох труб (зовнішньої 3 та внутрішньої 6). Зовнішні труби з'єднані між собою фланцями 2 та 5, приєднаними до патрубків 1 та 4. Характерною особливістю цього теплообмінника є розміщення патрубків 1 та 4 та протилежних сторонах труб 3 та 6. Таку конструкцію представлено на рисунку 3.10

Під час роботи теплоносії рухаються по зовнішнім і внутрішнім трубам, і перетікають з труби в трубу за допомогою тангенційно розташованих патрубків. Це забезпечує рух теплоносія в теплообмінних трубах по спіральній траєкторії, яка забезпечує турбулізацію потоку і, відповідно, інтенсифікує процес теплообміну. Крім того, теплоносії рухаються по спіралі в режимі протитоку, що додатково збільшує інтенсивність теплопередачі.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 47   |



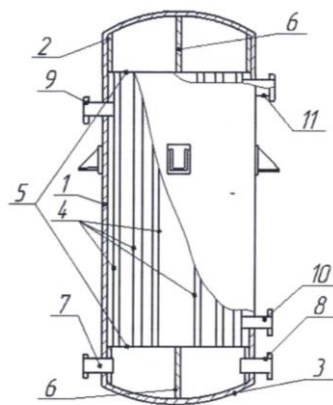
1-патрубок, 2-фланець, 3 – зовнішні труби, 4 – тангенційний патрубок, 5 – фланець, 6 – внутрішні труби.

Рисунок 3.10 -Теплообмінний апарат

Наступний приклад патенту [5] відноситься до кожухотрубних теплообмінників апаратів і використовується у хімічних, промислових, а також у нафтохімічних промисловостях. Конструкція має циліндричний кожух 1 , кришки 2 та днища 3. В свою чергу всі частини апарату кріпляться між собою болтами, що розташовані по всьому діаметру кожуха.

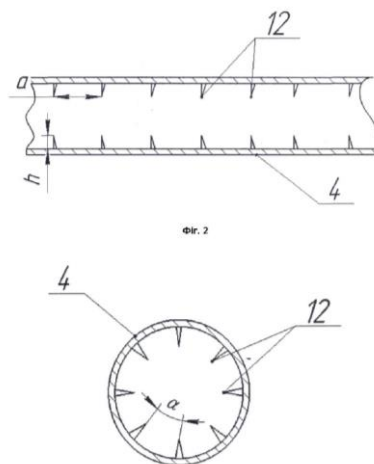
Даний теплообмінний апарат (рисунок 3.11) складається з циліндричного кожуха 1, до якого за допомогою болтів кріпляться кришки 2 і днища 3. Також теплообмінник містить закріплені на торцях кожуха 1 трубні решітки 5, в яких закріплені теплообмінні трубки 4. Особливість конструкції трубок є те, що на їх внутрішніх поверхнях розташовані голки 12, з визначеними кроком і кутом між ними, а також висотою. В кришках виконані перегородки 6. Теплоносії подаються в трубний і міжтрубний простір через штуцери 7 та 9 відповідно, а відводяться через штуцери 8 та 10 [5]

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 48   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



1-корпус, 2-кришка, 3 – днище, 4 – теплообмінні трубки, 5 – трубні решітки, 6 – перегородки, 7 – штуцер, 8 – штуцер для відведення , 9 – штуцер, 10,11 – штуцери для відведення конденсату.

Рисунок 3.11 –Теплообмінний апарат



1 – циліндричний кожух, 2 – кришка, 3 – днище, 4 – теплообмінні трубки, 5 – трубна решітка, 6 – перегородки, 7 – штуцери, 8 – штуцер, 9 – штуцер, 10,11 – штуцери відповідні, 12 – голки.

Рисунок 3.12 -Теплообмінний апарат

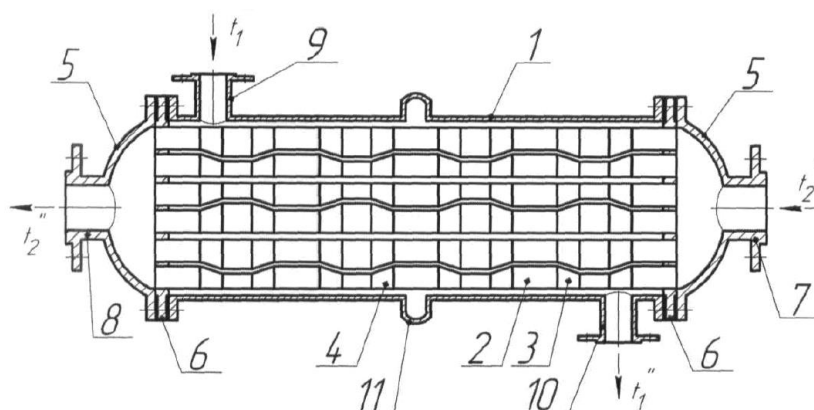
Переваги такої конструкції в тому, що вона має по всій довжині труб на внутрішній поверхні голки, що в свою чергу забезпечують збільшення коефіцієнта тепловіддачі і теплопередачі.[5]

Третій патент [6] має пучок труб (рисунок 3.113), що в свою чергу мінного діаметру з почерговими циліндричними ділянками і з'єднувальними

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 49   |

конфуз орними і дифузорними ділянками. Циліндричні ділянки розташовані ексцентрично.

Принцип роботи кожухотрубного теплообмінника [7] полягає в такому. Один з теплоносіїв через штуцер 7 надходить у колектор 5 і далі направляється в трубний пучок. В той же час, через штуцер 9 інший теплоносій надходить у міжтрубний простір. В результаті руху теплоносіїв по каналах складної конфігурації відбувається процес перенесення теплоти від одного (більш нагрітого) теплоносія до іншого. Теплоносіїв видаляються з теплообмінника через колектори та штуцери 8 та 10 [7].



1 – кожух, 2 – циліндричні ділянки, 3 – конфузорні ділянки, 4 – дифузорні ділянки, 5 – колектори, 6 – трубні дошки, 7 – штуцер для введення теплоносія трубного простору, 8 – штуцер для виведення теплоносія трубного простору, 9 – штуцер для введення теплоносія в міжтрубний простір, 10 – штуцер для виведення теплоносія в міжтрубному просторі, 11 – лінзовий компенсатор.

Рисунок 3.13 – Теплообмінний апарат

Останній патент [8] має таку ідею: теплообмінник включає безліч трубопроводів (рисунок 3.14), які розширюються між першою та другою торцевою панеллю. Перший колектор з'єднаний з першою торцевою панеллю для з'єднання першої колектор до перших кінців множини трубопроводів.

Вхід є з'єднаний з першим колектором, щоб направити першу рідину в перший колектор і встановлено щонайменше одна перегородка розміщена в

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 50   |

межах першого колектора для формування першої порожнини і другої порожнини. Вказана перегородка першого колектора налаштована на спрямування однієї рідини від входу до першого трубопроводу множини каналів. Другий колектор з'єднаний з другою кінцевою пластиною для з'єднання другого колектора з другими кінцями безліч трубопроводів і хоча б одна перегородка розміщена всередині другий колектор утворює четверту порожнину і п'яту порожнину.

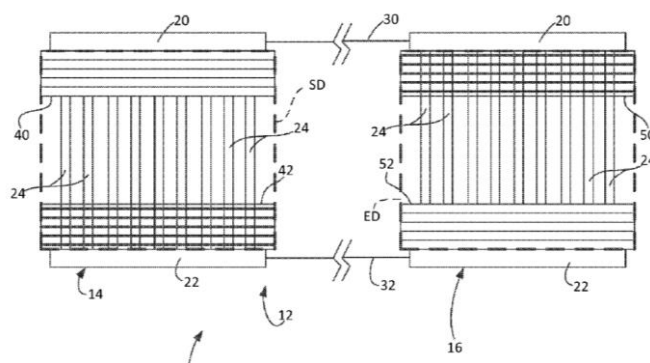


Рисунок 3.14 – Теплообмінний апарат

Винахід [9] забезпечує портативну, автономну систему зворотного осмосу (рисунок 3.15), до якої слід перенести всі необхідні компоненти обробка середовища поміщається всередині контейнера. Винахід важить менше 25 кілограм, споживає менше 250 Вт електроенергії, і його можна легко перевезти з одного місця в інше. Хоча винахід здатний обробляти  $\text{дм}^3$  середовища на день, він може ефективно обробляти всього лише один  $3,5 \text{ дм}^3$  середовище в заданий час.

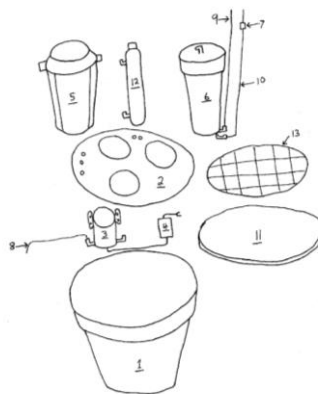
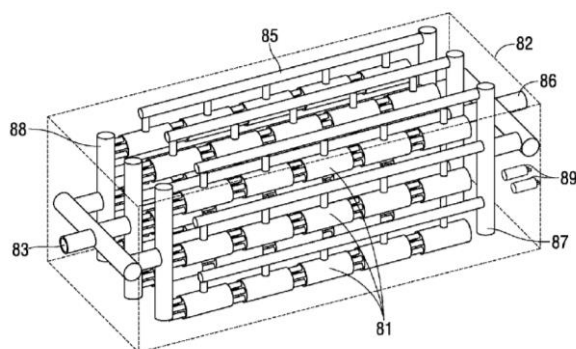


Рисунок 3.15-Мембраний модуль.

Запропановано новий апарат [10] (рисунок 3.16), систему та спосіб очищення вода і вилучені цінних металів і матеріалів. Апарат містить пристрій для переміщення від джерела до розробленого апарату для очищення води; принаймні один пристрій для видалення важких металів з води, що виробляється; хоча б один розсіл пристрій видалення для видалення розсолу з води, що виробляється. Спосіб працює в періодичному режимі, тобто передбачає етапи використання апарату та простою. Система управління, яка забезпечує щонайменше пристрій для видалення важких металів і необхідні вимірювальні пристрої.



Рисунко 3.16 – Мембранный модуль.

Дана заявка [11] спрямована на системи та методи для відділення палива (рисунок 3.16). Система включає: джерело паливний бак для рідкого палива;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 52   |



насос; і мембранний модуль. Мембранний модуль включає гідрофільну мембрану, а канал утримування та канал пронизування. Ретентат і канали пермеата знаходяться на протилежних сторонах мембрани. Мембранний модуль отримує паливо з вихідного палива резервуар і розділяє рідке паливо на високооктанову фракцію що збирається у ретентаційному каналі та низькому октані фракція, що дифундує через мембрану до пермеата канал. Крім того, система містить низькооктановий паливний бак для отримання щонайменше частини низькооктанової фракції, а високий октановий паливний бак для отримання щонайменше частини висока октанова фракція і двигун, налаштований вибірково отримують щонайменше порцію низького та високого октану фракції.

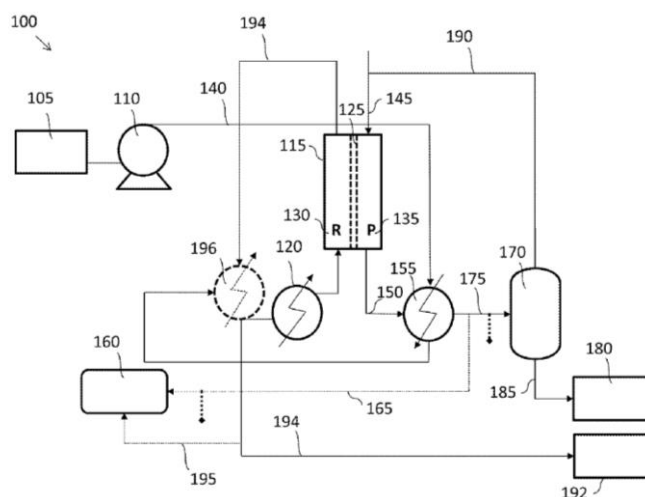


Рисунок 3.17 – Система зворотнього осомсу

Даний винахід [12] відноситься до процесів і систем для відновлення аміаку та / або відділення кислоти та газу. В деяких реалізаціях може бути система для відділення кислотного газу інтегрований із циклом зменшення аміаку із застосуванням а високий температурний поглинач. В деяких варіантах здійснення система для відділення кислотного газу може використовуватися більш високу температуру поглинача за рахунок менших витрат енергії та витрат інтегрований цикл зменшення аміаку. Переважно, тепло може бути відведене від поглинача принаймні для живлення частина

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 53   |

десорбції кислого газу в процесі. Система включає зворотній осмос або інші мембранні процеси.

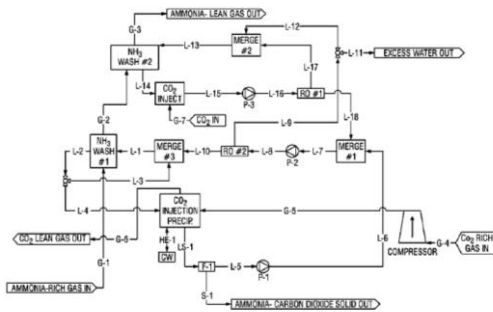


Рисунок 3.18 – Система зворотнього осмосу

Метод [13] підвищення інтенсивності мембраного розділення з використанням керамічних мембран включає стадію магнітної обробки (рисунок 3.19). На першому етапі рідина проходить через вузол магнітної обробки, рухаючись вздовж ліній магнітного проводу. На наступній стадії попередньо оброблене середовище розділяється на керамічних мембранах утворюючи пермеат і ретантат. У разі необхідності пермеат або ретантат може бути доочищений або доконцентрований на наступній стадії розділення.

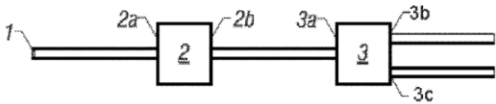


Fig. 1

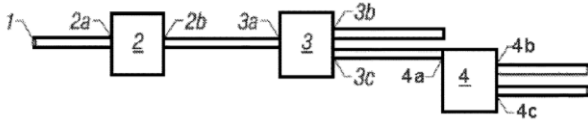


Рисунок 3.19 – Мембраний модуль

Висновок: за результатами огляду патентної документації було встановлено, що розроблені конструкції апарату зворотного осмосу та теплообмінного апарату, за основними характеристиками не поступається

розглянутим аналогам. Запропоновані технічні рішення відповідають світовому рівню. В сучасних патентах зусилля винахідників спрямовані в першу чергу на підвищення ефективності роботи апаратів, підвищення енергоефективності та спрощення конструкції. Документація щодо патентного пошуку наведено у додатку В.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 55   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## **4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій**

### **4.1 Наукові дослідження**

#### **4.1.1 Мета і задачі дослідження.**

Метою дослідницької частини дисертації є визначення впливу шару розділюваного розчину на величину опору шару концентраційної поляризації, а також визначення селективності мембран по цільовим компонентам.[14]

Задачі дослідження:

Розробка методики експериментального визначення опору шару концентраційної поляризації.

Проведення дослідів з визначення опору шару концентраційної поляризації.

Експериментальне визначення селективності мембран за цільовими компонентами.

Об'єкт дослідження – явище концентраційної поляризації та селективність мембран

Предмет дослідження – вплив складу розділюваного розчину на величину опору шару концентраційної поляризації.

#### **4.1.2 Методи дослідження**

- Об'ємний метод вимірювання витрат.
- Кондуктометричний метод вимірювання концентрації.
- Статистичні методи обробки результатів експериментів.

#### **4.1.3 Наукова новизна одержаних результатів**

– Отримали подальший розвиток уявлення опір шару концентраційної поляризації.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 56   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

– Встановлено що при розділенні розбавлених розчинів (концентрації до 100 мг/дм<sup>3</sup>) величина опору шару концентраційної поляризації змінюється не більш ніж на 10%, тоді як при зміні гідродинамічних умов значення  $R_{cp}$  може відрізнятися в 3-5 разів при зміні робочого тиску в межах 0,2–0,6 МПа чи критерію Рейнольдса в межах 2–13.

– Отримані результати підтверджують гіпотезу щодо лінійної залежності опору шару концентраційної поляризації від робочого тиску не лише для розчинів хлориду натрію, а й для інших мінеральних солей. Також результати узгоджуються плівковою теорією концентраційної поляризації.

#### 4.1.4 Результати досліджень

#### 4.1.4 Результати досліджень

Баромембранні процеси, зокрема зворотній осмос, широко використовуються в хімічній промисловості, а також в суміжних галузях, таких як біотехнологічні, фармацевтичні, харчові виробництва, системи водопідготовки та захисту навколишнього середовища [15]. Основною проблемою при експлуатації баромембранних апаратів та установок є явища концентраційної поляризації та утворення осадів на поверхні мембран [16]. Цьому питанню присвячена велика кількість досліджень, однак питанню визначення опору перенесенню маси, обумовленого шаром концентраційної поляризації, приділялося не достатньо уваги.

Це дослідження є продовженням нашої попередньої роботи [17], яка була присвячена розвитку методики експериментального визначення опору шару концентраційної поляризації та встановлення впливу робочих параметрів на значення вказаного опору. Однак в роботі [17] дослідження проводилися при використанні в якості розділюваного середовища розчинів хлориду натрію різних концентрацій, що не дозволяє встановити вплив складу вихідного розчину на величину опору шару концентраційної поляризації. Для

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 57   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

оцінки такого впливу було проведено експериментальне порівняння розглядуваного опору для розчинів трьох різних солей.

### Літературний огляд

Для опису явища концентраційної поляризації було запропоновано декілька основних моделей, основними з яких є плівкова, Шпіглера-Кедема, осмотичного тиску, гелевого шару та інші [14, 15]. При цьому, в деяких моделях, зокрема осмотичного тиску та гелевого шару потік речовини через мембрану описуються рівнянням виду [15]:

$$J = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu \cdot (R_m + R_{cp} + R_f + R_p)}, \quad (4.1)$$

де  $\Delta p$  – робочий тиск (рушійна сила),  $\Delta \pi$  – різниця осмотичних тисків;  $R_m$  – опір мембрани;  $R_{cp}$  – опір шару концентраційної поляризації;  $R_f$  – опір шару забруднень;  $R_p$  – опір заблокованих пор.

Згідно [15], в ідеальному випадку повинен бути лише опір мембрани, який може бути визначений експериментально при вимірюванні продуктивності за чистим розчинником. В такому разі ця величина буде визначатися із залежності [15]:

$$R_m = \frac{\Delta p}{\mu \cdot J}. \quad (4.2)$$

В роботі [16], відмічалось ряд робіт, присвячених методам визначення шару забруднень, зокрема отримання залежності питомого опору шару осаду від робочого тиску при тупиковий ультрафільтрації розчинів вуглеводнів в роботі [17].

Опір заблокованих пор характерний в першу чергу для процесу мікрофільтрації [15], тому в ряді робіт для опису баромембранних процесів ця величина не розглядається, як в роботі [17] при аналізі процесу нанофільтрації.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 58   |

В той же час, в джерелах літератури практично відсутні роботи щодо визначення опору шару концентраційної поляризації. В оглядовій роботі [15] відмічалось використання для цієї мети опосередкованих методів в більш ранніх роботах. В той же час, більшість досліджень концентраційної поляризації носять теоретичний характер і присвячені питанням числового моделювання цього явища та впливу на інтенсивність неорганічного забруднення мембран [18]; вдосконаленням моделей перенесення солей через мембрану [19]; моделюванню поля концентрацій при течії в каналах зі спейсерами [20], визначення граничних потоків [9] та вплив на формування забруднень [21, 22].

В роботі [23], відмічалось, що найбільш глибоко питання опору шару концентраційної поляризації було проведено Маседо та ін. [24]. Зокрема у зазначеному дослідженні було висунуто припущення, що величина  $R_{cp}$  прямопропорційна прикладеному тиску, тобто:

$$R_{cp} = \varphi \cdot \Delta p \quad (4.3)$$

Також в роботі [22] показано, що з урахуванням рівняння (3), рівняння (1) може бути представлене у вигляді:

$$\frac{1}{J} = \mu(R_m + R_f) \frac{1}{\Delta p} + \mu\varphi \quad (4.4)$$

Отриманий вираз є зручним інструментом для визначення опору шару забруднень, що дозволяє за даними щодо продуктивності визначати необхідність проведення регенерації мембран. За умови наявності надійних залежностей для визначення опору шару концентраційної поляризації чи величини  $\varphi$ , рівняння (3) можна було б використовувати для автоматичного керування процесами мембранного розділення.

В попередній нашій роботі [22] було встановлено, що припущення щодо лінійної залежності між опором шару концентраційної поляризації і прикладеним тиском є обґрунтованими, а також встановлено вплив робочих

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 59   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

параметрів (прикладеного тиску та гідродинамічних умов в модулі) на величину опору шару концентраційної поляризації. Однак такі дані результати ще не дозволяють отримати залежність для визначення опору шару концентраційної поляризації, зокрема через відсутність інформації щодо впливу складу розчину на величину опору, оскільки досліди проводилися з використанням лише одного розчину – NaCl.

## Матеріали

Як і в роботі [17], дослідження проводилися з ко-мерційно доступними мембранними модулями, проте іншої марки, а саме HID TFC 1812-75 GPD (виробництво Китай). Як і використовувані в роботі [15] мембрани Dow Filmtec TW30-1812-50, досліджувані модулі призначені для доочищення водопровідної води. Мембранні модулі HID TFC 1812-75 GPD мають на 50 % вищу продуктивність при меншій на 10% селективності.

Для вимірювання опору мембрани використовувалася знесолена вода (пермеат зворотного осмосу з загальним солевмістом 5-15 мг/дм<sup>3</sup>). Вимірювання опору шару концентраційної поляризації використовувалися розчини хлориду натрію (NaCl), сульфату магнію (MgSO<sub>4</sub>) та нітрату натрію (NaNO<sub>3</sub>). Досліди проводилися з використанням розчинів з концентрацією кожної солі 100 та 200 мг/дм<sup>3</sup>.

## Опис експериментальної установки

Дослідження проводилося на тій же самій установці, що і в роботі [15] (Рисунок 4.1), яка складається зі збірника розділюваного розчину 1, насоса 2, мембранного апарату 3, ємностей та збірників 5–8. Для регулювання витрат передбачено кран 5, робочий тиск контролювався за манометром 9.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 60   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



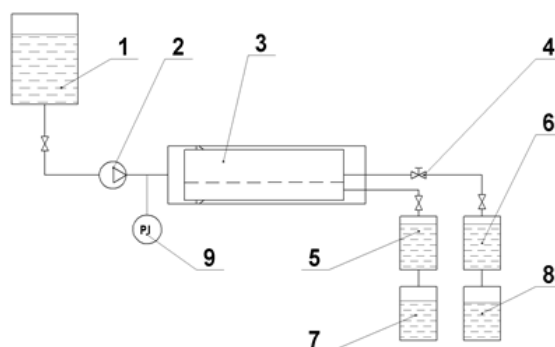


Рисунок 4.1. Схема експериментальної установки

Установка передбачає вимірювання витрат пермеату та ретентату об'ємним методом, за допомогою ємностей 5 та 6 з точністю  $\pm 2$  мл та  $\pm 10$  мл відповідно (прямим вимірюванням підлягало вимірювання об'єму та часу), а також дозволяла проводити вимірювання загального солевмісту за допомогою портативного TDS-метра, з точністю до  $1 \text{ мг/дм}^3$ . Робочий тиск вимірювався манометром PI, температура контролювалася за допомогою хромель-копелевих термопар та програмного модуля IndexTem з точністю до  $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$  (на схемі не показаний).

### Порядок проведення дослідів та основні вимірювання

В даному дослідженні використовувалося та ж сама методика проведення експерименту, що і в роботі [15], яка полягала в подачі насосом 2 розділюваного розчину при заданому тиску, та вимірювання об'ємним методом витрат пермеату та ретентату. Спершу вимірювання проводилися для нової мембрани HID TFC 1812-75 GPD з використанням в якості тестового розчину знесоленої води, потім вимірювання проводилися для розчинів солей. Після циклу роботи мембранного модуля з кожним розчином солі, проводилося промивання мембранного модуля знесоленою водою з метою вилучення залишків розчину солі.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 61   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Для кожного тестового розчину вимірювання проводилися при тисках в межах 0,2-0,6 МПа, та температурі оточуючого середовища, при чому температура розчину в ході досліджень змінювалася в межах 13-17°C.

Обробка результатів та визначення опору шару концентраційної поляризації проводилася за схемою, наведеною в [15]. Фізичні властивості розчину визначалися за довідковою літературою [21-22].

При визначенні коефіцієнта дифузії солі в розчині використовувалися експериментальні дані наведені в роботі [15]. Оскільки досліди проводилися при температурах відмінних від 25°C, для якої наведені дані в [22], для перерахунку використовувалася формула [19]:

$$D(T) = D(T_0) \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\left[ \frac{\mu(T)}{\mu(T_0)} \right]} \quad (4.5)$$

де  $D(T_0)$  – коефіцієнт дифузії при базовій температурі;  $T$  – температура розчину за робочих умов;  $T_0$  – базова температура розчину (в даному випадку температура для якої наведені довідкові дані, а саме 25°C),  $\mu(T)$  – коефіцієнт динамічної в'язкості розчину при робочій температурі;  $\mu(T_0)$  – коефіцієнт динамічної в'язкості розчину при базовій температурі. Значення коефіцієнтів динамічної в'язкості знаходилося за довідковою літературою [13–14].

## Результати та обговорення

Загальний опір перенесення речовини через мембрану, який був виміряний відповідно до описаної методики показаний на Рис. 2 та Рис. 3. Отримані результати в цілому підтверджують висновки, отримані в роботі [15]. Так, при вимірюванні продуктивності за чистим розчинником (деіонізованою водою) значення сумарного опору змінювалися не більше, ніж на 1%, а середнє значення становило  $0,5344 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-1}$ . Отже, вплив ущільнення мембрани на опір був незначний, а отримане значення можна прийняти рівним опору мембрани  $R_m$ . Варто відзначити, що величина опору мембрани для

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 62   |

модулів HID TFC 1812-75 GPD більше, ніж для модулів Dow Filmtec TW30-1812-50 ( $R_m = 0,7549 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-1}$ ), який використовувався в роботі [15].

Залежність опору сумарного від тиску апроксимується лінійною залежністю з коефіцієнтом кореляції 0,9-0,98. Такі результати дозволяють визначити опір шару концентраційної поляризації шляхом віднімання опору мембрани від сумарного опору. В результаті отримані залежності опору шару концентраційної поляризації від робочого тиску (Рисунок 4.2 та Рисунок 4.3).

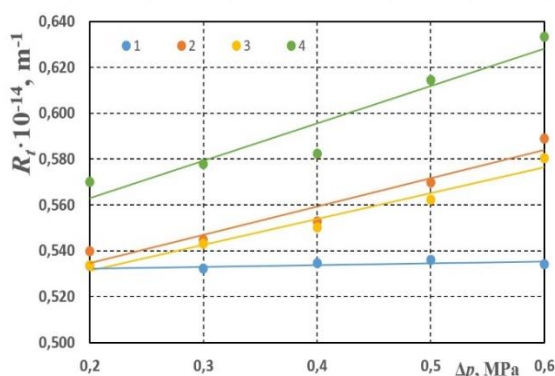


Рисунок 4.2 – Залежність загального опору перенесення речовини через мембрану від тиску: 1 – деіонізована вода; 2 – розчин  $\text{MgSO}_4$  (100 мг/дм<sup>3</sup>); 3 – розчин  $\text{NaNO}_3$  (100 мг/дм<sup>3</sup>); 4 – розчин  $\text{NaCl}$  (100 мг/дм<sup>3</sup>).

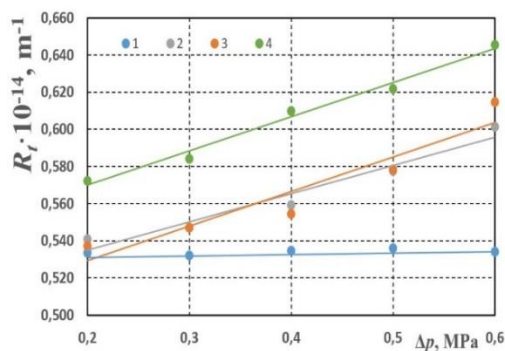


Рисунок 4.3 – Залежність загального опору перенесення речовини через мембрану від тиску: 1 – деіонізована вода; 2 – розчин  $\text{MgSO}_4$  (200 мг/дм<sup>3</sup>); 3 – розчин  $\text{NaNO}_3$  (200 мг/дм<sup>3</sup>); 4 – розчин  $\text{NaCl}$  (200 мг/дм<sup>3</sup>).

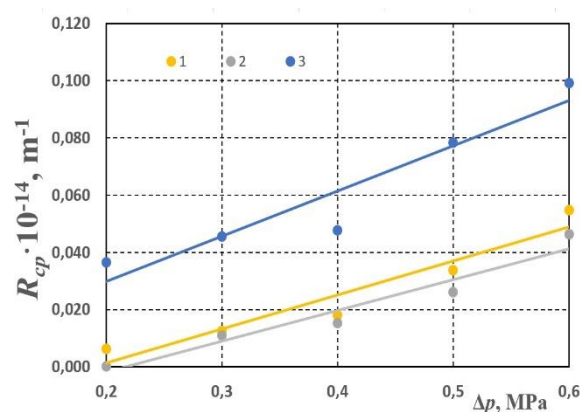


Рисунок 4.4 – Залежність опору шару концентраційної поляризації від тиску: 1 – розчин  $\text{MgSO}_4$  (100 мг/дм<sup>3</sup>); 2 – розчин  $\text{NaNO}_3$  (100 мг/дм<sup>3</sup>); 3 – розчин  $\text{NaCl}$  (100 мг/дм<sup>3</sup>).

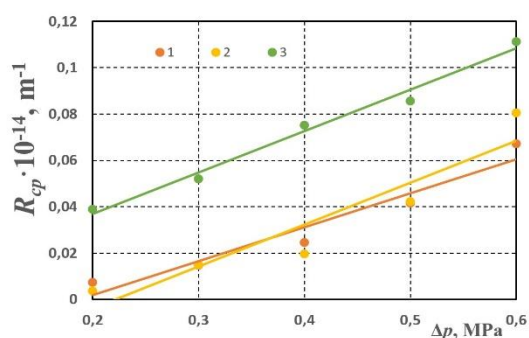


Рисунок 4.5 – Залежність опору шару концентраційної поляризації від тиску: 1 – розчин  $\text{MgSO}_4$  (200 мг/дм<sup>3</sup>); 3 – розчин  $\text{NaNO}_3$  (200 мг/дм<sup>3</sup>); 4 – розчин  $\text{NaCl}$  (200 мг/дм<sup>3</sup>).

При цьому гіпотеза про лінійну залежність  $R_{cp} = f(\Delta p)$  підтверджується як для  $\text{NaCl}$ , так і для інших солей, що використовувалися в дослідженнях.

Варто відзначити, що величина опору концентраційної поляризації для  $\text{MgSO}_4$  та  $\text{NaNO}_3$  знаходилась на приблизно однаковому рівні (відмінність не більше 2%) при однаковій концентрації (криві 1 та 2 на Рисунок 4.4. та Рисунок 4.5), тоді як для  $\text{NaCl}$  ці значення були більшими на 5-8% (криві 3 на тих самих рисунках). Такий результат був неочікуваним, зважаючи на властивості розчинів. Згідно [15] та з кореляцією за формулою (4.5) значення

коефіцієнта дифузії для  $\text{MgSO}_4$  за умов дослідів становило  $D = 7.715 \cdot 10^{-9} - 7.744 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ , для  $\text{NaNO}_3$  –  $D = 1.788 \cdot 10^{-9} - 1.789 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$  і, відповідно для  $\text{NaCl}$  –  $D = 1.8 \cdot 10^{-9} - 1.803 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ . Враховуючи те, що значення коефіцієнтів дифузії близькі для солей  $\text{NaNO}_3$  та  $\text{NaCl}$ , більшу відмінність варто було б очікувати для випадку розчину  $\text{MgSO}_4$ . Імовірною причиною такого відхилення є температурні умови, а саме те, що дослідження проводилися при кімнатних температурах, які протягом досліджень, як зазначалося раніше, при температурах  $13-17^\circ\text{C}$ . При чому при проведенні дослідів з  $\text{NaNO}_3$  та  $\text{MgSO}_4$  температура була приблизно однакова  $16,5-17^\circ\text{C}$ , тоді як експерименти з  $\text{NaCl}$  проводилися при нижчих температурах ( $13-13,5^\circ\text{C}$ ).

Вплив концентрації розчину в усіх випадках відповідав отриманим в роботі [15] результатам, а саме зі збільшенням концентрації розчину опір шару концентраційної поляризації зростає (Рисунок 4.6 та Рисунок 4.7).

Варто відзначити, що вплив складу розчину на величину опору шару концентраційної поляризації за умов проведення досліджень, а саме розглядуваних солей та їх концентрацій, менший, за вплив гідродинамічних умов, які розглядалися в роботі [3], при чому встановлені в ній закономірності підтверджуються. Зокрема, зі збільшенням критерію Рейнольдса величина опору шару концентраційної поляризації зменшується (Рисунок 4.8), як і передбачається плівковою теорією концентраційної поляризації [1-2].

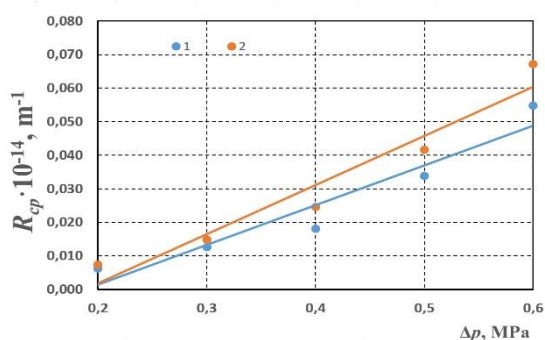


Рисунок 4.6 – Залежність опору шару концентраційної поляризації від тиску при розділенні розчинів  $\text{MgSO}_4$ : 1 –  $200 \text{ мг/дм}^3$ ; 2 –  $100 \text{ мг/дм}^3$ .

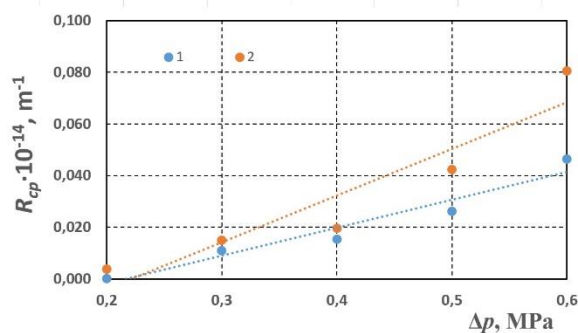


Рисунок 4.7 – Залежність опору шару концентраційної поляризації від тиску при розділенні розчинів  $\text{NaNO}_3$ : 1 – 200  $\text{мг/дм}^3$ ; 2 – 100  $\text{мг/дм}^3$ .

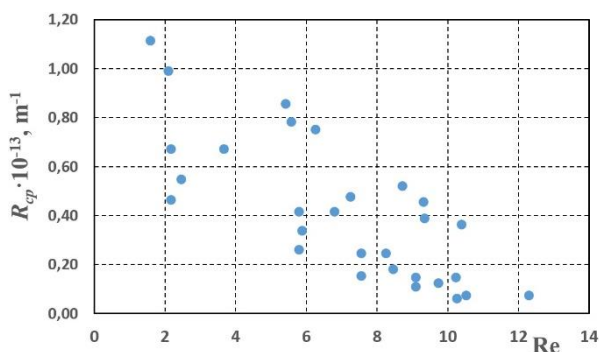


Рисунок 4.8 – Залежність опору шару концентраційної поляризації від критерію Рейнольдса.

Отримані дані не дозволили встановити вплив критерію Шмідта на величину опору шару концентраційної поляризації, оскільки значення цієї величини для  $\text{NaNO}_3$  та  $\text{NaCl}$  в умовах проведення експериментів були близькими ( $Sc = 630-640$ ), тоді як для  $\text{MgSO}_4$  суттєво відрізнялася ( $Sc = 140-150$ ). Це обумовлено вище відміченими значеннями коефіцієнтів дифузії розглядуваних солей в розчині за умов проведення експериментів. Встановлення цієї залежності необхідні подальші дослідження з відповідним підбиранням розчинів, їх концентрацій та робочих температур.

## Висновки

Проведена оцінка впливу складу розділюваного розчину на опір шару концентраційної поляризації при зворотному осмосі показує, що при розділенні розбавлених розчинів (концентрації до 100 мг/дм<sup>3</sup>) величина розглядуваного опору змінюється не більш ніж на 10%, тоді як при зміні гідродинамічних умов значення  $R_{cp}$  може відрізнятися в 3-5 разів при зміні робочого тиску в межах 0,2–0,6 МПа чи критерію Рейнольдса в межах 2–13. Отже вплив гідродинамічних умов є більш значущим, за вплив складу розчину.

Отримати залежність опору шару концентраційної поляризації від критерію Шмідта не вдалося.

Отримані результати підтверджують гіпотезу щодо лінійної залежності опору шару концентраційної поляризації від робочого тиску не лише для розчинів хлориду натрію, а й для інших мінеральних солей. Також результати узгоджуються плівковою теорією концентраційної поляризації.

## 4.2. Розрахунок теплообмінника

### 4.2.1 Визначення основних геометричних розмірів теплообмінника

Метою розрахунку є визначення необхідної поверхні теплообміну, конструктивних розмірів апарата та вибір нормалізованої конструкції апарата, яка оптимально задовольняє заданим технологічним умовам.

Розрахункова схема теплообмінника зображена на рисунку 4.9

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 67   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

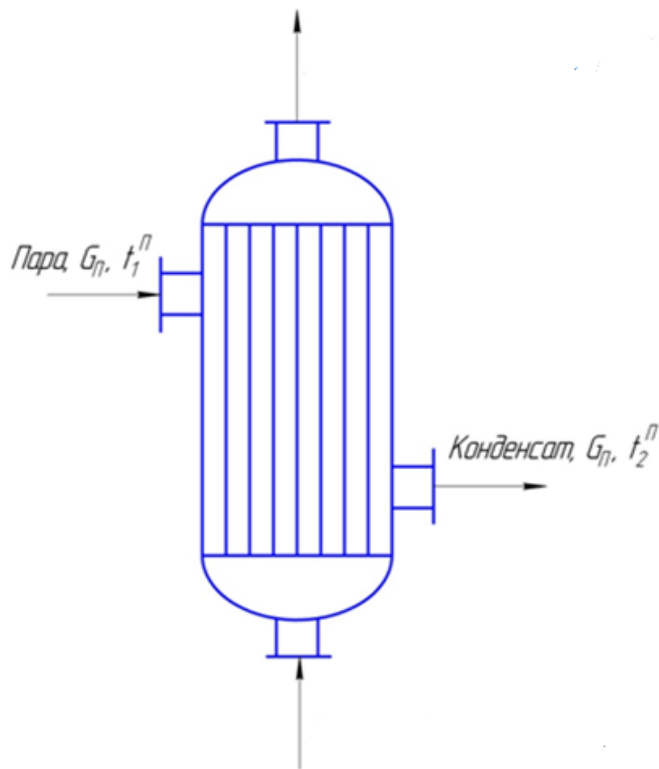


Рисунок 4.9 – Схема теплобмінного апарата

Схема температурного режиму представлена на рисунку 4.2

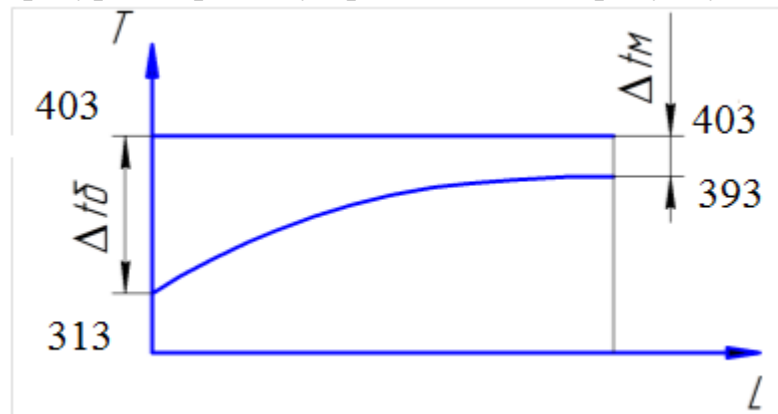


Рисунок 4.10 – Схема температурного режиму

Розрахунок проводиться за методикою, наведеною в [25].

Вихідні дані:

Масова витрата води  $G$ , кг/с 0,3;

Початкова температура води  $t_1$ , К 288;

Кінцева температура води  $t_2$ , К 373;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 68   |



Температура конденсації пари  $t_{\text{кон}}^n$ , К 393;

Тиск гріючої пари  $P$ , МПа 0,3;

Тип теплообмінника: кожухотрубний верт.

Тепловий розрахунок:

Температурна схема:

$$t_1 = 288 \text{ К} \rightarrow t_2 = 373 \text{ К},$$
$$t_{\text{кон}}^n = 373 \text{ К} \rightarrow t_{\text{кон}}^n = 393 \text{ К}.$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_6 = t_{\text{кон}}^n - t_1 = 393 - 373 = 20 \text{ К}.$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_m = t_{\text{кон}}^n - t_2 = 373 - 288 = 85 \text{ К}.$$

Середньологарифмічна різниця температур:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{85 - 20}{\ln \frac{85}{20}} = 51,26 \text{ К}.$$

Середня температура розчину води:

$$t_{2\text{cp}} = t_{\text{кон}}^n - \Delta t_{\text{cp}} = 120 - 51,29 = 68,74 \text{ К}.$$

Фізичні параметри  $\lambda, \mu, \rho, c$  води при  $t_{2\text{cp}} = 367 \text{ К}$ :

$c$  - питома теплоємність,  $c = 3872 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  [1];

$\rho$  - густина,  $\rho = 1064 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [25];

$\mu$  - динамічний коефіцієнт в'язкості  $\mu = 6,11 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$  [26];

$\lambda$  - теплопровідність  $\lambda = 0,443 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$  [26].

Теплове навантаження апарату:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 0,3 \cdot 3872 \cdot (373 - 288) = 1,065 \cdot 10^8 \text{ Вт}.$$

Витрата гріючої пари:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 69   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$G_{\Pi} = \left( \frac{Q}{r_{\Pi}} \right) = \left( \frac{1,065 \cdot 10^8}{2,207 \cdot 10^6} \right) = 50,668 \text{ кг/с.}$$

де  $r_{\Pi}$  – теплота конденсації пари,  $r_{\Pi} = 2,207 \cdot 10^6$  кДж/(кг·К) при  $P=0,2$  Мпа [26].

Орієнтовно визначаємо величину площі поверхні теплообміну:

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{1,065 \cdot 10^8}{2500 \cdot 51,26} = 831,05 \text{ м}^2,$$

де  $K_{\text{оп}}$  – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі,  $K_{\text{оп}} = 2500$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [26].

Для забезпечення турбулентної течії води в трубах швидкість повинна бути більшою ( $Re = 15000$ ):

$$\omega' = \frac{Re \cdot \mu}{d_2 \cdot \rho} = \frac{15000 \cdot 7,17 \cdot 10^{-7}}{0,021 \cdot 1064} = 0,512 \text{ м/с.}$$

де  $d_2$  – внутрішній діаметр теплообмінної труби,  $d_2 = 0,021$  м.

Визначаємо орієнтовно число труб в теплообміннику при турбулентному режимі:

$$n' = \frac{4 \cdot G}{0,785 \cdot Re \cdot \mu \cdot d_2} = \frac{4 \cdot 0,3}{0,785 \cdot 15000 \cdot 0,512 \cdot 0,021} = 1,691 \cdot 10^3.$$

По даним [25] приймаємо одноходовий теплообмінник з площею поверхні теплообміну  $831 \text{ м}^2$ , з числом труб 1701, довжиною труб 6 м та з діаметром кожуха 1200 мм.

Уточнення поверхні теплообміну:

Перераховуємо критерій  $Re$ :

$$Re_2 = 11000 \frac{0,016}{7,17 \cdot 10^{-7}} = 2,775 \cdot 10^6.$$

Дійсна швидкість в трубах:

$$\omega_2 = \frac{Re_2 \cdot \omega'}{10000} = \frac{11000 \cdot 0,512}{10000} = 5,632 \text{ м/с.}$$

Знаходимо критерій Прандтля при 372 К[ ]:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 70   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$Pr = \frac{c \cdot \mu \cdot \rho}{\lambda} = \frac{3,854 \cdot 10^3 \cdot 1,084 \cdot 10^3 \cdot 7,17 \cdot 10^{-7}}{0,426} = 7,028.$$

Знаходимо критерій Нуссельта[25]:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot \varepsilon_l \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,021 \cdot 1 \cdot (1,1 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 7,028^{0,43} \cdot 1 = 86,944$$

де коефіцієнт  $\varepsilon_l$  приймаємо за 1, співвідношення  $\left( \frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$  приймаємо за 1,

так як значення  $Pr_{ст}$  поки не відоме.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до газу:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda}{d_2} = \frac{86,944 \cdot 0,426}{0,021} = 2,315 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі при конденсації пари розраховуємо приблизно за формулою:

$$\alpha_n = 3,78 \cdot B_t \cdot \sqrt[3]{\frac{d_1 \cdot n}{G_{п}}} = 3,78 \cdot 1090 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,025 \cdot 1701}{50,668}} = 21870 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де коефіцієнт  $B_t = 1090$ .

Термічний опір стінки та забруднень:

$$\frac{1}{\sum r_{ст}} = \frac{1}{r_{31} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_{3г}} = \frac{1}{\frac{1}{5800} + \frac{0,002}{17} + \frac{1}{5800}} = 2162 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де  $r_{31} = \frac{1}{5800} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ ;  $r_{32} = \frac{1}{5800} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$  - теплова провідність забруднень води та пари,  $\lambda_{ст} = 17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  – теплопровідність матеріалу стінки;  $\delta_{ст}$  – товщина стінки труби;  $\delta_{ст} = 0,5 \cdot (0,025 - 0,021) = 0,002 \text{ м}$ .

Коефіцієнт теплопередачі:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 71   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_1}} = \frac{1}{\frac{1}{2315} + \frac{1}{17,5} + \frac{1}{4824}} = 1327 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Поверхнева густина теплового потоку []:

$$q = K \cdot \Delta t_{cp} = 1327 \cdot 51,26 = 68022 \text{ Вт/м}^2.$$

Розрахункова площа поверхні теплообміну [25]:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1,065 \cdot 10^8}{1,327 \cdot 10^3 \cdot 51,26} = 1565 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_1 \gg \alpha_2$ , тому розрахунковим діаметром при визначенні поверхні труб потрібно прийняти:  $d_2 = 0,021 \text{ м}$ .

Площа поверхні теплообміну вибраного апарата:

$$F = \pi \cdot d_{cp} \cdot n \cdot L = 3,14 \cdot 0,016 \cdot 1701 \cdot 6 \cdot 4 = 2052 \text{ м}^2.$$

$$\text{Запас поверхні теплообміну} \frac{2052 - 1565}{2502} \cdot 100\% = 23,714\% , \text{ що є}$$

достатньо.

Висновки: по ГОСТ15122-79 обираємо теплообмінник з площею поверхні теплообміну  $961 \text{ м}^2$ , зовнішнім діаметром кожуха 1200 мм, та довжиною труб 6 м, запас поверхні теплообміну при цьому складатиме 23,714% , що є достатньо.

#### 4.2.2 Конструктивний розрахунок теплообмінника

Метою конструктивного розрахунку теплообмінника є визначення діаметру апарата і числа труб.

Вихідні дані до розрахунку:

Розрахунковий тиск в середині апарата, МПа,  $P$  0,3;

Поверхня теплообміну  $F, \text{ м}^2$  961;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 72   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Внутрішній діаметр труб  | 0,021;     |
| Довжина труб $L$ , м     | 6;         |
| Кількість труб $n$ , шт. | 1071;      |
| Матеріал                 | 12X18H10T. |

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.3.

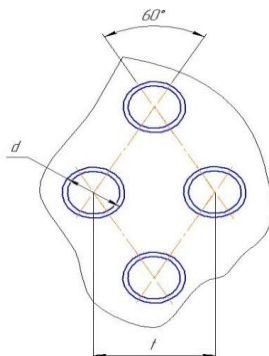


Рисунок 4.11 – Схема розташування теплообмінних труб в корпусі апарата

Розрахунок виконується за методикою, наведеною в [25].

Приймемо схему розташування теплообмінних труб у трубній решітці по вершинах правильних трикутників. Для даного розміру труб ( $25 \times 2$  мм) крок розташування труб становить:  $t = 32$  мм (0,032 м).

Для шахового розташування труб, яке широко застосовують як саму компактну схему, зв'язок між загальною кількістю труб  $n$ , числом труб на діагоналі  $b$  і на стороні  $a$  найбільшого шестикутника виражається наступною залежністю:

$$n = 3a \cdot (a - 1) + 1$$

Тоді:  $1701 - 3a^2 + 3a - 1 = 0.$

Звідки  $a = 24$ . Приймаємо  $a = 24$ .

Кількість труб на діагоналі зовнішнього шестикутника:

$$b = 2a - 1 = 2 \cdot 24 - 1 = 47.$$

Загальна кількість труб:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 73   |

$$n = 3a(a - 1) + 1 = 3 \cdot 24(24 - 1) + 1 = 1657.$$

Отже, різницю в кількості труб між стандартним та реальним теплообмінником компенсуємо, розмістивши шість трубок поза периметром найбільшого шестикутника.

Уточнюємо дійсну площу теплообміну:

$$F = \pi dnL = 3,14 \cdot 0,021 \cdot 1657 \cdot 6 = 655,672 \text{ м}^2.$$

Запас площі:

$$F = \frac{F - F'}{F'} \cdot 100\% = \frac{961 - 655,672}{655,672} \cdot 100\% = 46\%.$$

Внутрішній діаметр корпусу апарата:

$$D_0 = t(b - 1) + 4d = 0,032 \cdot (47 - 1) + 6 \cdot 0,021 = 1,198 \text{ м}.$$

Отримане значення діаметра округлюємо до найближчого стандартного значення.

Висновок: по ГОСТ15122-79 приймаємо кожухотрубний теплообмінник з такими параметрами:

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| внутрішній діаметр кожуха $D_0$ , м | 1,200; |
| число труб $n$ , шт.                | 1083.  |

#### 4.2.3 Розрахунок діаметра штуцерів

Метою розрахунку є вибір стандартних штуцерів за тиском і умовним діаметром, що далі визначається.

Вихідні дані для розрахунку:

|   |         |
|---|---------|
| Витрата розчину у в трубному просторі $G_A$ , кг/с          | 325,13; |
| Витрата гріючої пари в міжтрубному просторі $G_{II}$ , кг/с | 50,668; |
| Густина а розчину $\rho_A$ , кг/м <sup>3</sup>              | 1000;   |
| Густина гріючої пари $\rho_{II}$ , кг/м <sup>3</sup>        | 1,119;  |

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 74   |

Густина конденсату гріючої пари  $\rho_K$ , кг/м<sup>3</sup>

943.

Розрахунок виконується за методикою, наведеної в [27].

Схема штуцера представлена на рисунку 4.16.

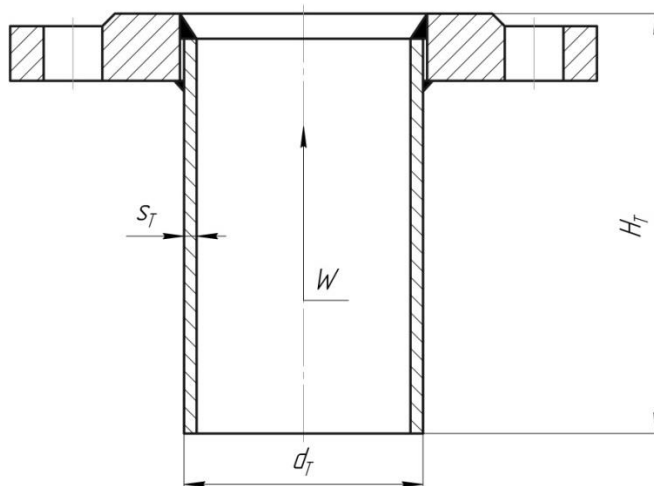


Рисунок 4.12 – Схема штуцера

Приймаємо швидкість аміаку в штуцері  $W_A^{\text{III}} = 2$  м/с, швидкість гріючої пари в штуцері  $W_{\text{II}}^{\text{III}} = 2$  м/с, швидкість конденсату гріючої пари в штуцері  $W_K^{\text{III}} = 50$  м/с.

Діаметр патрубків для води:

$$d_{A1} = d_{A2} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_A}{\rho_A \cdot \pi \cdot W_A^{\text{III}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 32513}{1000 \cdot 3,141 \cdot 2}} = 0,455 \text{ м.}$$

Приймаємо патрубки з параметрами:

Діаметр умовного проходу  $D_y$ , м 0,450;

Діаметр патрубка  $d$ , м 0,500;

Товщина стінки  $s$ , м 0,006.

Діаметр патрубка для гріючої пари:

$$d_{\text{III}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{II}}}{\rho_{\text{II}} \cdot \pi \cdot W_{\text{II}}^{\text{III}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50,68}{1,1199 \cdot 3,141 \cdot 50}} = 0,537 \text{ м.}$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 75   |

Приймаємо патрубки з параметрами:

Діаметр умовного проходу  $D_y$ , м 0,537;

Діаметр патрубка  $d$ , м 0,550;

Товщина стінки  $s$ , м 0,006.

Діаметр патрубка для конденсату гріючої пари:

$$d_{п2} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_K}{\rho_K \cdot \pi \cdot W_K^{III}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50,668}{943 \cdot 3,141 \cdot 2}} = 0,092 \text{ м.}$$

Приймаємо патрубки з параметрами:

Діаметр умовного проходу  $D_y$ , м 0,092;

Діаметр патрубка  $d$ , м 0,1;

Товщина стінки  $s$ , м 0,006.

Висновок: в результаті проведених розрахунків було вибрано геометричні розміри штуцерів для подачі і виходу води штуцер діаметром 0,500 м, для подачі гріючої пари штуцер діаметром 0,550 м, для виходу конденсату штуцер діаметром 0,100 м.

#### 4.2.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки і перевірка її на міцність.

Вихідні дані до розрахунку:

Матеріал обичайки – прокат листовий гарячекатаний виготовлений у рулонах із сталі 12X18H10T ГОСТ 5632–72.

Розрахунковий тиск всередині апарата  $p_R$ , МПа 0,2;

Внутрішній діаметр апарата  $D$ , м 1,200;

Розрахункова температура стінки  $t_{ст}$ , К 341;

Нормативне допустиме напруження при  $t_{ст}$  [σ], МПа 169;

Поправочний коефіцієнт, якщо апарат зварний,  $\eta$  1;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 76   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Нормативне допустиме напруження при  $t_{ст}$   $\sigma_{40}$ , МПа 184;

Матеріал 12X18H10T.

Коефіцієнт міцності повздовжніх зварних швів (стиків з двобічним суцільним проваром, виконується автоматичним зварюванням)  $\varphi_p$  1.

Швидкість корозії  $\nu_{кор}$ , мм/рік 0,1.

Термін експлуатації  $\tau$ , років 15.

Розрахункова схема представлена на рисунку 4.13.

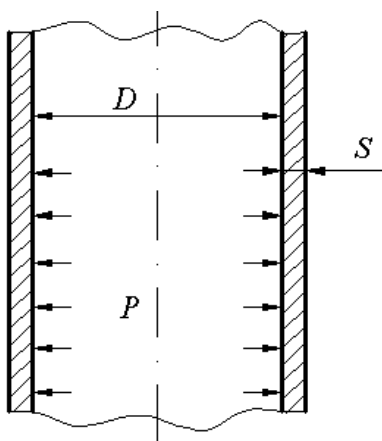


Рисунок 4.13 – Схема до розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки корпуса, навантаженої внутрішнім тиском

Розрахунок циліндричної обичайки проводиться згідно з ГОСТ 14249–89 і передбачає підрахунок товщини обичайки лише від дії внутрішнього тиску. Розрахунок проводимо по методиці, приведений в [23].

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S_R = \frac{p_R D}{2[\sigma]\varphi_p - p_R} = \frac{0,2 \cdot 1,200}{2 \cdot 169 \cdot 1 - 0,2} = 2,415 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії і корозії:

$$C_1 = \nu_{кор} \tau + C_e = 0,0001 \cdot 15 + 0 = 0,0015 \text{ м,}$$

де  $C_e$  - додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії,  $C_e = 0$ .

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 77   |

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S^1 = S_R + C_1 + C_0 = 0,00245 + 0,0015 + 0,000166 = 0,004116 \text{ м},$$

де  $C_0$  - додаток, який вибирається конструктивно для кожного окремого випадку. Обираємо  $C_0 = 0,00166$  м через те, що найближча товщина листового прокату становить 2,45 мм.

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску: Граничне відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного виготовленого у рулонах 4,2 мм нормальної точності при його ширині від 500 до 2200 включно становить 0,15 мм, тобто  $C_2 = 0,00015$  м.

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

Додаток  $C_3$  враховується у випадках, коли має місце стоншення стінки елемента посудин або апарата при технологічних операціях: витяжці, штампуванні, гнутті трубі т. ін..

$$C_3 = 0.$$

Відношення суми додатків  $C_2$  і  $C_3$  до товщини  $S^1$ :

$$\frac{C_2 + C_3}{S^1} = \frac{0,00242 + 0}{0,004116} = 0,058 > 0,05.$$

Сума додатків розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,0015 + 0,00242 + 0 = 0,00392 \text{ м}.$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S = S_R + C + C_0 = 0,00392 + 0,00165 + 0,000216 = 0,00578 \text{ м},$$

де  $C_0$  - додаток, який вибирається конструктивно для кожного окремого випадку. Обираємо  $C_0 = 0,00242$  м через те, що найближча товщина листового прокату становить 2 мм.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 78   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Перерахунок додатка до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску  $C_2$  (виконується коли  $S \neq S^1$ ):

Граничне відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного виготовленого у рулонах 2мм нормальної точності при його ширині від 500 до 2200 включно становить 0,16мм, тобто  $C_2 = 0,0016\text{м}$ .

Відношення суми додатків  $C_2$  і  $C_3$  до товщини  $S$  (виконується коли  $S \neq S^1$ ):

$$\frac{C_2 + C_3}{S^1} = \frac{0,00016 + 0}{0,0027} = 0,059 > 0,05.$$

Перерахунок суми додатків товщини (виконується коли  $S \neq S^1$ ):

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,0015 + 0,00242 + 0 = 0,003935\text{м}.$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{0,00578 - 0,003935}{1,200} = 0,00250 < 0,3,$$

для  $D < 0,2\text{м}$ .

Умова виконується.

За результатами розрахунку, враховуючи додатки на товщину та вимоги до транспортування і монтажу, остаточно приймаємо товщину стінки  $S = 0,006\text{м}$ .

Перерахунок суми додатків товщини при  $S = 0,006\text{м}$ :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,0015 + 0,0002 + 0 = 0,0017\text{м},$$

де граничне відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного виготовленого у рулонах 4мм нормальної точності при його ширині від 500 до 2200 включно становить 0,1мм, тобто  $C_2 = 0,0001\text{м}$ .

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 79   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(S-C)}{D+S-C} = \frac{2 \cdot 169 \cdot 1 \cdot (0,006 - 0,000742)}{1,200 + 0,006 - 0,000742} = 26,97 \text{ МПа},$$

$$[p] > p_R.$$

Висновок:

Програма перевірного розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки знаходиться у додатку Г.

Через те, що умови застосування формул виконуються, а допустимий внутрішній надлишковий тиск більший за розрахунковий, то приймаємо товщину стінки  $S = 0,006 \text{ м}$ .

#### 4.2.5 Розрахунок на міцність товщини стінки еліптичного днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки еліптичної кришки і перевірка її на міцність.

Вихідні дані:

Матеріал обичайки – прокат листовий гарячекатаний виготовлений у рулонах із сталі 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632–72).

Внутрішній діаметр апарата  $D$ , м 1,200;

Розрахунковий тиск  $p_R$ , МПа 0,2;

Розрахункова температура, К 341;

Допустиме напруження у робочому стані  $[\sigma]$ , МПа 169;

Допустиме напруження при 313 К  $\sigma$ , МПа 184;

Матеріал 12Х18Н10Т.

Коефіцієнт міцності повздовжніх зварних швів (стиків з двобічним суцільним проваром, виконуються автоматичним зварюванням)  $\varphi_p$  1.

Швидкість корозії матеріалу,  $\nu_{\text{кор}}$ , мм/рік 0,1.

Строк служби апарата,  $\tau$ , років 15.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 80   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Методика проведення даного розрахунку складена згідно ГОСТ 14249 – 89 і передбачає підрахунок товщини стінки еліптичної кришки лише від дії внутрішнього тиску.

Розрахунок виконується за методикою, наведеною в [28].

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.14.

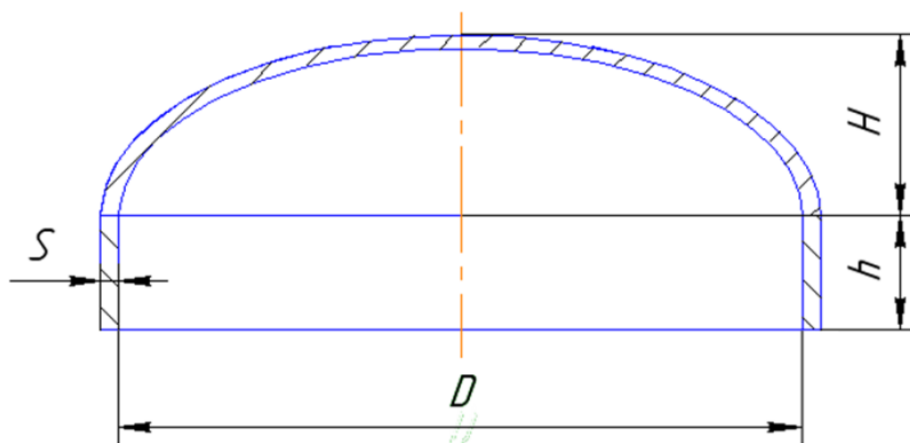


Рисунок 4.14 – Схема до розрахунку еліптичної кришки

Внутрішній радіус кривизни у вершині кришки або днища:

$$R_e = \frac{D^2}{4H} = \frac{1,200^2}{4 \cdot 0,31} = 1,2 \text{ м},$$

де  $H = 0,25D$  - висота днища.

Розрахункова товщина стінки днища:

$$S_{dR} = \frac{p_R R_e}{2[\sigma] \varphi_p - 0,5 p_R} = \frac{0,2 \cdot 1,200}{2 \cdot 169 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,2} = 3,624 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії і корозії:

$$C_1 = \nu_{\text{кор}} \tau + C_e = 0,0001 \cdot 15 + 0 = 0,0015 \text{ м},$$

де  $C_e = 0$  - додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії.

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 81   |

$$S_{\text{д}}^1 = S_{\text{дR}} + C_1 + C_0 = 3,624 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3} + 0,000166 = 2,362 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де  $C_0$  - додаток, який вибирається конструктивно для кожного окремого випадку. Обираємо

$C_0 = 3,638 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  через те, що найближча товщина листового прокату становить 4 мм.

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску:

Граничне відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного виготовленого у рулонах 4 мм нормальної точності при його ширині від 500 до 2200 включно становить 0,15 мм, тобто  $C_2 = 0,00015 \text{ м}$ .

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

Додаток  $C_3$  враховується у випадках, коли має місце стоншення стінки елемента посудин або апарата при технологічних операціях: витяжці, штампуванні, гнутті трубі т. ін..

$$C_3 = 0.$$

Відношення суми додатків  $C_2$  і  $C_3$  до товщини  $S_{\text{д}}^1$ :

$$\frac{C_2 + C_3}{S_{\text{д}}^1} = \frac{0,00015 + 0}{0,0027} = 0,084 > 0,05.$$

Сума додатків розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,00015 + 0,00015 + 0 = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Довжина циліндричної відбортованої частини днища:

$$h > 0,8 \sqrt{D(S_{\text{д}}^1 - C)},$$

$$0,035 > 0,45$$

тоді, виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 82   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$S_d = \frac{p_R D}{2[\sigma] - p_R} + C + C_0 = \frac{0,2 \cdot 1,200}{2 \cdot 169 - 0,2} + 0,00165 + 0,0002159 = 2,916 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де  $C_0$  - додаток, який вибирається конструктивно для кожного окремого випадку. Обираємо  $C_0 = 0,0002159$  м через те, що найближча товщина листового прокату становить 2 мм.

Перерахунок додатка до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску  $C_2$  (виконується коли  $S_d \neq S_d^1$ ):

Граничне відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного виготовленого у рулонах 2 мм нормальної точності при його ширині від 500 до 2200 включно становить 0,16 мм, тобто  $C_2 = 0,00016$  м.

Відношення суми додатків  $C_2$  і  $C_3$  до товщини  $S$  (виконується коли  $S_d \neq S_d^1$ ):

$$\frac{C_2 + C_3}{S_d} = \frac{0,00016 + 0}{0,008} = 0,025 > 0,05$$

Перерахунок суми додатків товщини (виконується коли  $S_d \neq S_d^1$ ):

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,0015 + 0,00016 = 0,00166 \text{ м}.$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{0,002 - 0,00166}{1,240} = 0,000272 < 0,3,$$

для  $D < 0,2$  м.

Умова виконується.

За результатами розрахунку, враховуючи додатки на товщину та вимоги до транспортування і мотажу, остаточно приймаємо товщину стінки  $S = 0,004$  м.

Перерахунок суми додатків товщини при  $S = 0,004$  м:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 83   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,0015 + 0,0002 + 0 = 0,0017 \text{ м},$$

де граничне відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного виготовленого у рулонах 4 мм нормальної точності при його ширині від 500 до 2200 включно становить 0,2 мм, тобто  $C_2 = 0,0002 \text{ м}$ .

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(S - C)}{R_e + 0,5(S_d - C)} = \frac{2 \cdot 169 \cdot 1 \cdot (0,004 - 0,0017)}{1,200 + 0,5 \cdot (0,004 - 0,0017)} = 1,586 \text{ МПа},$$

$$[p] > p_R$$

Через те, що всі умови застосування формул виконуються, а допустимий внутрішній надлишковий тиск більший за розрахунковий, то приймаємо товщину стінки  $S = 0,004 \text{ м}$ .

Висновок: приймаємо еліптичну кришку за ГОСТ6533-78 з такими параметрами:

|   |        |
|---|--------|
| Внутрішній діаметр $D_{\text{вн}}$ , м            | 1,200. |
| Зовнішній діаметр $D$ , м                         | 1,220. |
| Товщина стінки $S$ , м                            | 0,006. |
| Висота еліптичної частини $H$ , м                 | 0,03.  |
| Висота циліндричної частини (відбортовки) $h$ , м | 0,025. |

#### 4.2.6 Розрахунок укріплення отворів для штуцера в циліндричній обичайці

Мета розрахунку: розрахувати укріплення отворів для штуцера в еліптичній кришці навантаженого вигинаючим моментом.

Розрахункова схема укріплення отворів наведена на рисунку 4.6.

Вихідні дані для розрахунку:

Діаметр обичайки  $D_R$ , м 1,2;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 84   |



|   |            |
|---|------------|
| Тиск розрахунковий $p$ , МПа            | 0,2;       |
| Матеріал                                | 12X18H10T; |
| Допустиме напруження $[\sigma]_l$ , МПа | 128;       |
| Товщина обичайки $S$ , м                | 0,006;     |
| Товщина стінки патрубку $S'$ м,         | 0,006;     |
| Технологічна прибавка $C_k$ , м         | 0,0013;    |
| Внутрішній діаметр штуцера $d$ , м      | 0,6;       |

Патрубок із сталюого листа сталь 35 товщиною 4,5 мм,  $[\sigma]_l = 132$  МПа ).

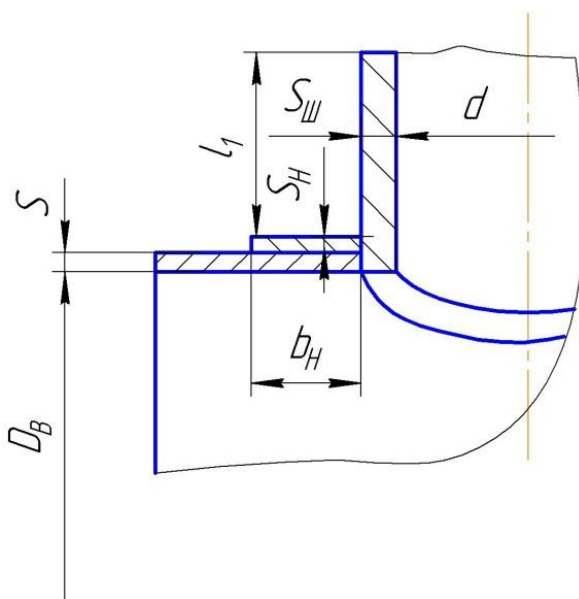


Рисунок 4.15 - Розрахункова схема укріплення отворів

Розрахунок ведемо відповідно до ГОСТ 24755-89.

Найбільший допустимий діаметр отвору в обичайці, що не потребує укріплення (без врахування приварюваного штуцера), розраховується по формулі:

$$\begin{aligned}
 d_0 &= 2 \left( \left( \frac{S-c}{S_r} - 0,8 \right) \sqrt{D(S-c)} \right) = \\
 &= 2 \left( \left( \frac{0,003-0,0013}{0,0009} - 0,8 \right) \sqrt{1,2(0,003-0,0013)} \right) = 0,098 \text{ м.}
 \end{aligned}$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 85   |

Оскільки внутрішній діаметр отвору  $d = 0,6$  м, то його потрібно укріплювати.

Проведемо розрахунок штуцера діаметром  $d = 0,6$  м.

Номінальну розрахункову товщину стінки штуцера, враховуючи коефіцієнт міцності зварного шва  $\phi_{ш} = 0,95$ :

$$S_R = \frac{pD}{2[\sigma]\phi - p} = \frac{0,2 \cdot 0,6}{2 \cdot 130 \cdot 0,9 - 0,2} = 0,005 \text{ м.}$$

Ширину накладки знаходимо за формулою:

$$b_{\text{н}} = \sqrt{D(S - c)} = \sqrt{0,6(0,004 - 0,0013)} = 0,04 \text{ м.}$$

Довжину укріплюючої частини штуцера знаходимо:

$$\begin{aligned} l &= 1,25 \sqrt{(d + 2 \cdot c)(S_{\text{ш}} - c)} = \\ &= 1,25 \sqrt{(0,6 + 2 \cdot 0,0013)(0,004 - 0,0013)} = 0,05 \text{ м.} \end{aligned}$$

Перевіримо чи достатньо укріплення штуцером:

$$(d - d_0)S' \leq \left[ 2 \cdot (l + S - S' - c) \left( S_{\text{ш}} - S'_{\text{ш}} - c \right) \frac{[\sigma]_{\text{л}}}{[\sigma]} + 2(b_{\text{н}} + S - S' - c)S_{\text{ш}} \right].$$

Ліва частина умови:

$$(d - d_0)S' = (0,6 - 0,098)0,003 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Права частина умови:

$$\begin{aligned} &\left[ 2 \cdot (l + S - S' - c) \left( S_{\text{ш}} - S'_{\text{ш}} - c \right) \frac{[\sigma]_{\text{л}}}{[\sigma]} + 2(b_{\text{н}} + S - S' - c)S_{\text{ш}} \right] = \\ &= \left[ 2 \cdot (0,025 + 0,004 - 0,003 - 0,0013)(0,0045 - 0,003 - 0,0013) \frac{128}{130} + \right. \\ &\quad \left. + 2(0,04 + 0,004 - 0,003 - 0,0013) \cdot 0,0045 \right] = 3,67 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

Висновок: відповідно до ГОСТ 24755-89, укріплення отворів забезпечено, оскільки права частина більша лівої  $3,67 \cdot 10^{-4} > 1,5 \cdot 10^{-4}$ .

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 86   |

#### 4.2.7 Розрахунок опору теплообмінника

Мета розрахунку: обрати опору теплообмінника та розрахувати на міцність і стійкість.

Вихідні данні:

|  |         |
|--|---------|
| Розрахунковий діаметр обичайки $D$ , м         | 1,2;    |
| маса апарата $m$ , кг                          | 2356;   |
| товщина стінки обичайки $s$ , м                | 0,006;  |
| сума доданків до розрахункової товщини $s$ , м | 0,0018; |
| висота еліптичного днища $H$ , м               | 0,350;  |
| допустиме напруження $[\sigma]$ , МПа          | 138,2;  |
| межа текучості $\sigma_{\tau}$ , МПа           | 201;    |
| робочий тиск $P_p$ , МПа                       | 0,13.   |

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.20 [17]:

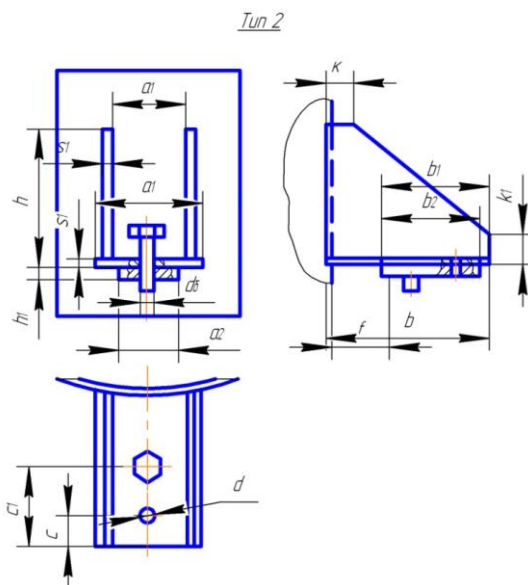


Рисунок 4.16 – Розрахункова схема

Для розрахунку скористаємося методикою запропонованою авторами [17].

Об'єм трубного простору:

$$V_1 = (\pi d_{\text{вн}}^2 / 4) \cdot n \cdot L_1 = (3,14 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2 / 4) \cdot 60 \cdot 1,6 = 0,188 \text{ м}^3,$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 87   |

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_2 = (\pi D_{\text{вн}}^2 / 4) \cdot L_2 - (\pi d_{\text{зовн}}^2 / 4) \cdot n \cdot L_1 = \\ = (3,14 \cdot 1,2^2 / 4) \cdot 1,6 - (3,14 \cdot (60 \cdot 10^{-3})^2 / 4) \cdot 60 \cdot 1,6 = 2,19 \text{ м}^3.$$

Вага кисню в апараті:

$$G_K = \rho_K \cdot V_1 \cdot g = 1139 \cdot 0,188 \cdot 9,81 = 2,1 \text{ кН}.$$

Вага азоту в апараті:

$$G_A = \rho_A \cdot V_2 \cdot g = 6,5 \cdot 2,19 \cdot 9,81 = 139,6 \text{ Н}.$$

Вага апарата:

$$G_{\text{ап}} = m \cdot g = 2356 \cdot 9,81 = 23,11 \text{ кН}.$$

Загальна вага апарата:

$$G_{\text{заг}} = G_K + G_A + G_{\text{ап}} = 2,1 \cdot 10^3 + 139,6 + 23,11 \cdot 10^3 = 25,35 \text{ кН}.$$

Вибираю опору для  $D=1408$  мм. Допустиме зусилля на одну опору  $Q = 40$  кН.

Розрахункове число опор:

$$n_p = G_{\text{заг}} / Q = 25,35 / 40 = 0,63;$$

приймаємо кількість опор  $n = 2$ .

Розміри опорної лапи конструкції типу 1:

|  |        |
|--|--------|
| виліт опори $b$ , м  | 0,315; |
| відстань від краю болтів до вісі фундаментних болтів $c_1$ , м                 | 0,09;  |
| відстань від зовнішньої стінки апарату до опорної поверхні $f$ , м             | 0,16;  |
| товщина стінки апарату $S$ , м   | 0,006; |
| висота опори $h$ , м   | 0,390; |
| діаметр апарату внутрішній $D$ , м   | 1,2;   |
| число опор $z$   | 2;     |
| коефіцієнти нерівномірності розподілення навантажень $\lambda_1$               | 2;     |
| $\lambda_2$  | 1;     |
| конструктивні коефіцієнти $k_1=0,45, k_2=0,47, k_3=0,38, k_4=0,19, k_5=0,29$ . |        |

Розрахунок товщини ребра

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 88   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Плече вертикальної реакції опори :

$$l = b + S_0 - c_1 = 0,185 + 0,004 - 0,09 = 0,229 \text{ м},$$

де  $b$  – виліт опори;  $S_0$  – товщина стінки апарата без прибавки на корозію та мінусовий допуск;  $c_1$  – відстань від краю опори до осі фундаментних болтів.

Навантаження на одну опору:

$$Q = \lambda_1 \cdot \frac{p}{Z} + \lambda_2 \cdot \frac{M}{D + 2 \cdot l} = 2 \cdot \frac{0,04}{2} + 1 \cdot \frac{0,05}{1,4 + 2 \cdot 0,229} = 0,067 \text{ МН},$$

де  $\lambda_1, \lambda_2$  – коефіцієнти нерівномірності розподілення навантажень;

$p$  – навантаження на опору;

$Z$  – кількість опор;

$D$  – внутрішній діаметр апарата.

Довжина нахиленої грані вертикального ребра :

$$l_1 = \sqrt{b^2 + h^2} = \sqrt{0,315^2 + 0,390^2} = 0,501 \text{ м},$$

де  $h$  – висота опори .

Кут нахилу грані до осі апарата :

$$\alpha = \arcsin \frac{b}{l_1} = \arcsin \frac{0,315}{0,501} = 0,68$$

Коефіцієнт зменшення допустимих напружень при поздовжньому вигині при  $\lambda_3 \geq 90$  :

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{4,443 \cdot (Q \cdot \operatorname{ctg} \alpha)^{0,6263}}{\left[ l_1 \cdot \left( \alpha - \frac{\pi}{2} + \operatorname{ctg} \alpha \right) \cdot (b - f) \cdot [\sigma] \right]^{0,6263}} = \\ &= \frac{4,443 \cdot (0,067 \cdot 1,237)^{0,6263}}{\left[ 0,501 \cdot \left( 0,68 - \frac{\pi}{2} + 1,237 \right) \cdot (0,315 - 0,160) \cdot 138,2 \right]^{0,6263}} = 0,425, \end{aligned}$$

де  $f$  – відстань від зовнішньої стінки апарата до опорної поверхні;

$[\sigma]$  – допустиме напруження.

Гнучкість ребра:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 89   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$\lambda_3 = \left( \frac{1386,5}{\phi_1} \right)^{0,597} = \left( \frac{1386,5}{0,425} \right)^{0,597} = 125,2.$$

Товщина стінки ребра :

$$S_1 = \frac{Q \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{2 \cdot \left( \alpha - \frac{\pi}{2} + \operatorname{ctg} \alpha \right) \cdot (b - f) \cdot [\sigma] \cdot \phi_1} =$$

$$= \frac{0,067 \cdot 1,237}{2 \cdot \left( 0,68 - \frac{3,14}{2} + 1,237 \right) (0,315 - 0,160) \cdot 138,2 \cdot 0,425} = 0,014 \text{ м.}$$

З урахуванням прибавок на корозію та мінусовий допуск:

$$S_1' = S_1 + c = 0,014 + 0,0018 = 0,016 \text{ м;}$$

де  $c$  – прибавка, яка враховує корозію та мінусовий допуск. Приймаємо  $S = 16$  мм.

Розрахунок стінки апарата біля опори

Осьове напруження від внутрішнього тиску:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_p \cdot D}{4 \cdot S_0} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot S_0} = \frac{0,13 \cdot 1,4}{4 \cdot 0,004} + \frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 1,4^2 \cdot 0,004} = 19,5 \text{ МПа;}$$

де  $P_p$  – робочий тиск,  $M$  – зовнішній вигинаючий момент, який діє на апарат.

Окружне напруження від внутрішнього тиску:

$$\sigma_{\text{моу}} = \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot S_0} = \frac{0,13 \cdot 1,4}{2 \cdot 0,004} = 22,75 \text{ МПа.}$$

Максимальне напруження від тиску:

$$\sigma_{\text{мо}} = \max(\sigma_{\text{мох}}, \sigma_{\text{моу}}) = 22,75 \text{ МПа.}$$

Максимальне напруження від тиску та реакції опори:

$$\sigma_m = \sigma_{\text{мо}} + k_1 \cdot \frac{Q \cdot l}{D \cdot S_0^2} = 22,75 + 0,45 \cdot \frac{0,067 \cdot 0,229}{1,4 \cdot 0,004^2} = 349,4 \text{ МПа;}$$

де  $k_1$  – конструктивний коефіцієнт.

Максимальне напруження вигину від реакції опори:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 90   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$\sigma_u = k_2 \cdot \frac{Q \cdot l}{h \cdot S_0^2} = 0,47 \cdot \frac{0,067 \cdot 0,229}{0,390 \cdot 0,004^2} = 1,225 \cdot 10^3 \text{ МПа},$$

де  $k_2$  – конструктивний коефіцієнт.

Умова міцності стінки:

$$\left( \frac{\sigma_m}{\sigma_T} \right)^2 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_u}{\sigma_T} = \left( \frac{349,4}{201} \right)^2 + 0,8 \frac{1225}{201} = 7,9 < 1,$$

де  $\sigma_T$  – границя плинності. Умова не виконується, тому необхідно провести розрахунок накладного листа.

Розрахунок накладного листа

Товщина накладного листа :

$$S_H = \sqrt{k_5 \cdot \frac{Q}{\sigma_T}} = \sqrt{0,29 \frac{0,067}{201}} = 0,01 \text{ м.}$$

Максимальне напруження з урахуванням накладного листа :

$$\sigma_{m_1} = \sigma_{m_0} + k_3 \cdot \frac{Q \cdot l}{D \cdot (S_0 + S_H)^2} = 22,75 + 0,38 \frac{0,067 \cdot 0,229}{1,4 \cdot (0,004 + 0,01)^2} = 43 \text{ МПа.}$$

Вигинаюче напруження :

$$\sigma_u = k_4 \cdot \frac{Q \cdot l}{H \cdot (S_0 + S_H)^2} = 0,19 \cdot \frac{0,067 \cdot 0,229}{0,41 \cdot (0,004 + 0,01)^2} = 36,3 \text{ МПа.}$$

де  $k_3, k_4, k_5$  – конструктивні коефіцієнти .

Умова міцності стінки:

$$\left( \frac{\sigma_m}{\sigma_T} \right)^2 + 0,8 \cdot \frac{\sigma_u}{\sigma_T} = \left( \frac{44}{201} \right)^2 + 0,8 \frac{36,3}{201} = 0,19 \leq 1.$$

Висновок: умова несучої спроможності опорного вузла з підкладним листом виконалась; опора має такі параметри: виліт  $b = 0,315$  м, відстань від краю болтів до вісі фундаментних болтів  $c_1 = 0,09$  м, відстань від зовнішньої стінки апарату до опорної поверхні  $f = 0,16$ , товщина стінки апарату  $S = 0,004$ ,  $h = 0,390$  м, кількість опор  $z = 2$ .

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 91   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

#### 4.2.8 Розрахунок лінзового компенсатора теплообмінника

Мета: визначити геометричні розміри лінзового компенсатора .

Вихідні данні:

Внутрішній діаметр апарата  $D_{\text{вн}}$ , м 1,2;

тиск в міжтрубному просторі  $P_{\text{м}}$ , МПа 0,2;

розрахункова товщини стінки обичайки  $s$ , м 0,006;

прибавки до розрахункової товщини стінки  $C$ , м 0,0021;

номінальна розрахункова товщина стінки обичайки  $s'$ , м 0,0025.

Розрахунок ведеться згідно алгоритму, що описаний [17].

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.17.

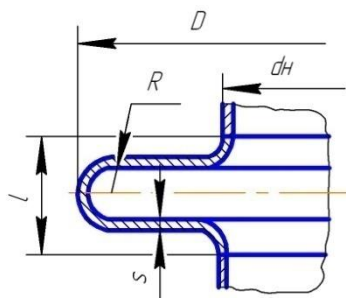


Рисунок 4.17– Розрахункова схема

Номінальна розрахункова товщина стінки лінзи:

$$s' = 0,895 K D_{\text{вн}} \sqrt{\frac{P_{\text{м}}}{[\sigma]}} = 0,895 \cdot 0,029 \cdot 1,4 \sqrt{\frac{0,13}{310}} = 7,44 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

де  $[\sigma] = 310$  МПа.

Приймаємо товщину  $s = 4$  мм.

Коефіцієнт  $K$ :

$$K = \sqrt{\frac{(1 - \beta)(1 - \beta^2)}{8\beta^2(3 + \beta)}} = \sqrt{\frac{(1 - 0,894)(1 - 0,894^2)}{8 \cdot 0,894^2(3 + 0,894)}} = 0,029.$$

Коефіцієнт  $\beta$ :

$$\beta = \frac{D_{\text{вн}}}{D} = \frac{1400}{1566} = 0,894;$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 92   |



де  $D = 1556$  м – зовнішній діаметр лінзи.

Реакція компенсатора:

$$P_k = \frac{4,9 \cdot [\sigma] \cdot s^2}{1 - \beta} = \frac{4,9 \cdot 310 \cdot 0,04^2}{1 - 0,894} = 0,229 \text{ МН.}$$

Розпір від тиску середовища в лінзі:

$$P_p = 0,8 K_1 P_m D_B^2 = 0,8 \cdot 0,097 \cdot 0,13 \cdot 0,14^2 = 0,0002 \text{ МН.}$$

Коефіцієнт  $K_1$  :

$$K_1 = \frac{\pi (1 - \beta)(1 + 2\beta)}{12 \beta^2} = 0,097$$

Деформація лінзи:

$$\Delta_l = 0,075 K_2 \frac{[\sigma] D_B^2}{E_k s} = 0,075 \cdot 0,068 \cdot \frac{310 \cdot 1,4^2}{140 \cdot 10^5 \cdot 0,004} = 5,53 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Коефіцієнт  $K_2$  :

$$K_2 = \frac{6,9}{1 - \beta} \left( \frac{1 - \beta^2}{\beta^2} - \frac{4 \ln^2 \beta}{1 - \beta^2} \right) =$$

$$= \frac{6,9}{1 - 0,894} \left( \frac{1 - 0,894^2}{0,894^2} - \frac{4 \cdot \ln^2 0,894}{1 - 0,894^2} \right) = 0,068.$$

Деформація корпусу від дії реакції компенсатора:

$$\Delta_t^k = \frac{P_k l}{E_k^t F_k} = \frac{0,229 \cdot 1,6}{140 \cdot 10^5 \cdot 1,56} = 1,68 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

Деформація труб від дії реакції компенсатора:

$$\Delta_t^{\text{тр}} = \frac{P_k l}{E_{\text{тр}}^t F_{\text{тр}}} = \frac{0,229 \cdot 1,6}{140 \cdot 10^5 \cdot 0,17} = 1,54 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Деформація корпусу від дії сил  $P + P_p$  :

$$\Delta_p^k = \frac{(P + P_p) l}{E_k^t F_k} = \frac{(0,2 + 0,0002) \cdot 1,6}{140 \cdot 10^5 \cdot 1,56} = 1,48 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

$$P = 0,785 \cdot \left[ (D^2 - d_{\text{зовн}}^2) \cdot P_m + d_{\text{вн}}^2 z P_{\text{тр}} \right] =$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 93   |

$$= 0,785 \cdot \left[ (1,4^2 - (0,060 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 60) \cdot 0,13 + (0,030 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 60 \cdot 0,14 \right] = 0,2 \text{ МН.}$$

Деформація труб від дії сил  $P + P_p$ :

$$\Delta_p^{\text{тр}} = \frac{(P + P_p)l}{E_{\text{тр}} F_{\text{тр}}} = \frac{(0,2 + 0,0002) \cdot 1,6}{140 \cdot 10^5 \cdot 0,17} = 1,35 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Величина деформації труб по відношенню до корпусу в результаті їх теплового розширення:

$$\begin{aligned} \Delta_t &= l(\alpha_{\text{тр}}^t (t_{\text{тр}} - 20) - \alpha_{\text{к}}^t (t_{\text{к}} - 20)) = \\ &= 1,6 \cdot (12,3 \cdot 10^{-6} \cdot 110 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 100) = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ м.} \end{aligned}$$

Деформація компенсатора:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{к}} &= \Delta_t - \Delta_t^{\text{к}} - \Delta_t^{\text{тр}} + \Delta_p^{\text{к}} + \Delta_p^{\text{тр}} = \\ &= 1,65 \cdot 10^{-4} - 1,68 \cdot 10^{-8} - 1,54 \cdot 10^{-7} + 1,48 \cdot 10^{-8} + 1,35 \cdot 10^{-7} = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ м.} \end{aligned}$$

Висновок: компенсатор непотрібен.

### 4.3. Розрахунок апарату зворотнього осмосу

#### 4.3.1 Визначення основних геометричних розмірів апарату зворотнього осмосу

Метою розрахунку є визначення об'єму апарату, площі теплообміну, основних геометричних та конструктивних параметрів апарата.

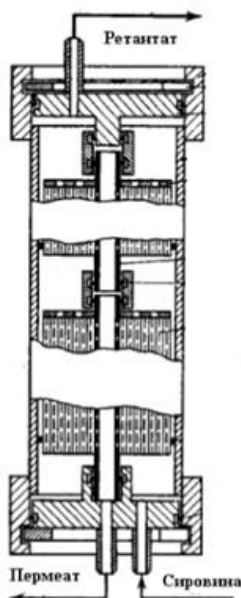
Розрахункова схема наведена на рисунку 4.18.

Вихідні дані:

|  |         |
|--|---------|
| найменування розчину, що розділяється                              | вода;   |
| масова продуктивність за розчином, що розділяється $L_{1f}$ , кг/с | 5;      |
| початкова концентрація розчину, що розділяється $x_{1f}$ , % мас   | 1,2;    |
| кінцева концентрація розчину, що розділяється $x_{1r}$ , % мас     | 3,2224; |
| перепад тиску на мембрані $\Delta p$ , МПа                         | 5;      |

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 94   |

температура розчину  $t, ^\circ\text{C}$  25;  
 допустимі втрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від  
 кількості, що наявна в початковому розчині  $[g_{\text{ср}}]$ , % 10.  
 Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [37, ст. 37-52].



### *Визначення кінцевої концентрації*

Кінцева концентрація вибирається з техніко-економічних міркувань. При підвищенні концентрації розчиненої речовини понад 0,2-0,4 моль/(л розчинника) показники зворотного осмосу різко погіршуються. Тому кінцеву концентрацію  $x_{1r}$ , вибирають такою, що відповідає 0,3 моль/(л розчинника) для заданої речовини за даними [37, додаток Б].

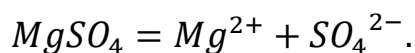
Ступінь концентрування:

$$K = \frac{x_{1r}}{x_{1f}} = \frac{3,2224}{1,2} = 2,685.$$

### *Вибір мембрани*

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 95   |

Для визначення селективності запишемо рівняння електролітичної дисоціації  $MgSO_4$ :



Середнє геометричне значення теплоти гідратації, кДж/моль:

$$\Delta H_{\text{сг}} = \sqrt{\Delta H_{Mg^{2+}} \cdot \Delta H_{SO_4^{2-}}} = \sqrt{1955 + 1110} = 1,473 \cdot 10^3,$$

де значення теплоти гідратації іонів [37, додаток А]:

$$\Delta H_{Mg^{2+}} = 1955 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}},$$

$$\Delta H_{SO_4^{2-}} = 1110 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

Теплота гідратації  $Mg^{2+}$ , більша за теплоту гідратацію  $SO_4^{2-}$ , тому  $Z_m = 1$ .

За таблицею 4.3 вибираються значення для найбільш продуктивної мембрани МГА-80.

При виборі мембрани виходять з того, що вона має забезпечити максимально можливу продуктивність при заданому ступені розділення. Тому спочатку вибирається найбільш продуктивна мембрана за таблицею 4.3 і перевіряється придатність даної мембрани за величиною втрат солі.

Таблиця 4.3 Характеристики деяких мембран для зворотного осмосу [37]

| Марка мембрани | Питома продуктивність за водою $G_0$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с) | Константи в рівнянні |       |
|----------------|---|----------------------|-------|
|                |   | a                    | b     |
| МГА-100        | 0,0014  | 6,70                 | 3,215 |
| МГА-95         | 0,0023  | 3,47                 | 1,844 |
| МГА-90         | 0,003   | 2,67                 | 1,420 |
| МГА-80         | 0,0049  | 1,00                 | 0,625 |

Істина селективність мембрани за заданою сіллю:

$$\phi_i = 1 - 10^{a-b \cdot \lg\left(\frac{\Delta H_{cr}}{Z_m}\right)} = 1 - 10^{1-0,625 \cdot \lg\left(\frac{1,473 \cdot 10^3}{2}\right)} = 0,839.$$

В першому наближенні вважаємо спостережувану селективність рівною істинній, розраховуємо середню концентрацію солі в пермеаті, мас. частка:

$$x_2 = x_{1f} \cdot \frac{1 - K^{\frac{\phi_i - 1}{\phi_i}}}{1 - K^{-\frac{1}{\phi_i}}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1 - 2,685^{\frac{0,839 - 1}{0,839}}}{1 - 2,685^{-\frac{1}{0,839}}} = 3,003 \cdot 10^{-3}.$$

Витрати пермеату, кг/с:

$$L_p = L_f \cdot \left(1 - K^{-\frac{1}{\phi_i}}\right) = 5 \cdot \left(1 - 2,685^{-\frac{1}{0,839}}\right) = 3,46.$$

Витрата солі з сировиною, кг/с:

$$G_{c1f} = L_f \cdot x_{1f} = 5 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} = 0,06.$$

Витрата солі з пермеатом, кг/с:

$$G_{cp} = L_p \cdot x_2 = 3,46 \cdot 3,003 \cdot 10^{-3} = 0,01.$$

Витрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісті у початковому розчині, %:

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{0,01}{0,06} \cdot 100\% = 17,318.$$

Умова задовільної селективності:

$$g_{cp} \leq [g_{cp}],$$

$$17,318 > 10.$$

Умова не виконується, з таблиці 3.1 вибираємо більш селективну мембрану і виконуємо перерахунок.

Обираємо мембрану МГА-90.

Істина селективність мембрани за заданою сіллю:

$$\phi_i = 1 - 10^{a-b \cdot \lg\left(\frac{\Delta H_{cr}}{Z_m}\right)} = 1 - 10^{2,67-1,420 \cdot \lg\left(\frac{1,473 \cdot 10^3}{2}\right)} = 0,96.$$

В першому наближенні вважаємо спостережувану селективність рівною істинній, розраховуємо середню концентрацію солі в пермеаті, мас. частка:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 97   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$x_2 = x_{1f} \cdot \frac{1 - K^{\frac{\phi_i - 1}{\phi_i}}}{1 - K^{-\frac{1}{\phi_i}}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1 - 2,685^{\frac{0,96 - 1}{0,96}}}{1 - 2,685^{-\frac{1}{0,96}}} = 7,47 \cdot 10^{-4}.$$

Витрати пермеату, кг/с:

$$L_p = L_f \cdot \left(1 - K^{-\frac{1}{\phi_i}}\right) = 5 \cdot \left(1 - 2,685^{-\frac{1}{0,96}}\right) = 3,213.$$

Витрата солі з сировиною, кг/с:

$$G_{c1f} = L_f \cdot x_{1f} = 5 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} = 0,06.$$

Витрата солі з пермеатом, кг/с:

$$G_{cp} = L_p \cdot x_2 = 3,213 \cdot 7,47 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-3}.$$

Витрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісті у початковому розчині, %:

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{0,06} \cdot 100\% = 3,999.$$

Умова задовільної селективності:

$$g_{cp} \leq [g_{cp}],$$

$$3,999 < 10.$$

Умова виконується.

*Наближений розрахунок поверхні мембрани*

За концентраціями в розділюваному розчині та ретантаті за даними, наведеними в [37, додаток Б] вибираються значення осмотичних тисків, МПа:

$$\pi_{1f} = 0,3026 \text{ МПа}, \pi_{1r} = 0,813.$$

Нехтуючи в першому наближенні впливом концентраційної поляризації, розраховується проникненість мембрани на вході та виході з апарату, кг/(м<sup>2</sup>·с):

$$G_f = G_0 \cdot \left(\frac{\pi_{1f}}{\Delta p}\right) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{0,3026}{5}\right) = 2,8184 \cdot 10^{-3},$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 98   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$G_r = G_0 \cdot \left( \frac{\pi_{1r}}{\Delta p} \right) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{0,813}{5} \right) = 2,5124 \cdot 10^{-3}.$$

Середнє значення проникненості, кг/(м<sup>2</sup>·с):

$$G = \frac{G_f + G_r}{2} = \frac{2,8184 \cdot 10^{-3} + 2,5124 \cdot 10^{-3}}{2} = 2,665 \cdot 10^{-3}.$$

Наближене значення площі поверхні мембрани, м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{L_p}{G} = \frac{3,213}{2,665 \cdot 10^{-3}} = 1,205 \cdot 10^{-3}.$$

Витрата ретантату, кг/с:

$$L_r = L_f - L_p = 5 - 3,213 = 1,787.$$

*Вибір апарата та його основних параметрів*

При виборі розмірів апарата змінними можуть бути такі величини [3]:

- робоча висота модуля  $l_m$ , м

0,8;

- кількість сумісно навитих елементів у модулі  $n_e$  8;

- кількість модулів у корпусі апарата  $n_m$  3;

- товщина сітки сепаратора  $\delta_c$ , мм 0,5;

- товщина дренажного матеріалу  $\delta_d$ , мм 0,2;

- товщина підкладного матеріалу  $\delta_1$ , мм 0,2;

- товщина мембрани  $\delta_2$ , мм 0,1;

- довжина мембранного пакету  $l_p$ , м 1,8.

Товщина мембранного пакету, м:

$$\delta_p = \delta_d + 2 \cdot \delta_1 + 2 \cdot \delta_2 = (0,2 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,1) \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-4}.$$

Площа поверхні мембрани в одному елементі, м<sup>2</sup>:

$$F_e = 2 \cdot l_p \cdot l_m = 2 \cdot 1,8 \cdot 0,8 = 2,88.$$

Площа робочої поверхні мембран в одному модулі, м<sup>2</sup>:

$$F_m = n_e \cdot F_e = 8 \cdot 2,88 = 23,04.$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 99   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Площа робочої поверхні мембран в одному апараті, м<sup>2</sup>:

$$F_a = n_m \cdot F_m = 3 \cdot 23,04 = 69,12.$$

Площа поперечного перерізу апарата, по якому проходить розчин, що розділяється, м<sup>2</sup>:

$$S_1 = n_e \cdot l_p \cdot \delta_c = 8 \cdot 1,8 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3}.$$

Площа поперечного перерізу апарата, зайнята пакетами мембран, м<sup>2</sup>:

$$S_2 = n_e \cdot l_p \cdot \delta_p = 8 \cdot 1,8 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 0,012.$$

Площа поперечного перерізу апарата з урахуванням запасу на конструктивні елементи, м<sup>2</sup>:

$$S_A = 1,1 \cdot (S_1 + S_2) = 1,1 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3} + 0,012) = 0,021.$$

Внутрішній діаметр апарата, м:

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \cdot S_A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,021}{\pi}} = 0,162.$$

Приймаємо  $d_a = 0,2$  м.

Загальна кількість апаратів у мембранній установці:

$$n = \frac{F}{F_a} = \frac{1,205 \cdot 10^3}{69,12} = 17,437.$$

Приймаємо  $n = 18$ .

*Секціювання апаратів в установці*

Визначається витрата пермеату в одному апараті, кг/с:

$$L_{pa} = G \cdot F_a = 2,665 \cdot 10^3 \cdot 69,12 = 0,184.$$

Визначається кількість апаратів в секціях:

$$n_1 = \frac{L_f \cdot \left(1 - \frac{1}{q}\right)}{L_{pa}} = \frac{5 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,2}\right)}{0,184} = 4,523; \text{Приймаємо } n_1 = 5.$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 100  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



$$n_2 = \frac{n_1}{q^{2-1}} = \frac{4,523}{1,2^1} = 3,769; \text{ Приймаємо } n_2 = 4.$$

$$n_3 = \frac{n_1}{q^{3-1}} = \frac{4,523}{1,2^2} = 3,141; \text{ Приймаємо } n_3 = 3.$$

$$n_4 = \frac{n_1}{q^{4-1}} = \frac{4,523}{1,2^3} = 2,618; \text{ Приймаємо } n_4 = 3.$$

$$n_5 = \frac{n_1}{q^{5-1}} = \frac{4,523}{1,2^4} = 2,181; \text{ Приймаємо } n_5 = 3.$$

Де  $q = 1,2$ - припустиме зниження витрат за довжиною апарата [37].

Сума апаратів в секціях:

$$\sum n_i = 18.$$

Отже, якщо використати шість секцій в каскаді, необхідно вилучити 1 апарат, тоді як при використанні п'яти секцій – необхідно додати 4. Тому приймаємо 6 секцій. Вилучимо з другої 1 апарат. Тоді розподіл апаратів за секціями наведемо в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Розподіл апаратів за секціями

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | $\sum n_i$ |
|---|---|---|---|---|---|------------|
| n | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 18         |

#### *Розрахунок спостережуваної селективності*

Для заданої солі за концентрації в сировині та ретантаті знаходять значення густини, коефіцієнту кінематичної в'язкості та коефіцієнта дифузії [37, додаток Б]:

$$\rho_{1f} = 1,00921 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{1r} = 1032,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 101  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$v_{1f} = 9,338 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

$$v_{1r} = 1,0107 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

$$D_{1f} = 6,02 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

$$D_{1r} = 0,586 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Визначається критерій Шмідта на вході і на виході в установку:

$$Sd_{1f} = \frac{v_{1f}}{D_{1f}} = \frac{9,338 \cdot 10^{-7}}{6,02 \cdot 10^{-10}} = 1,551 \cdot 10^3;$$

$$Sd_{1r} = \frac{v_{1r}}{D_{1r}} = \frac{1,0107 \cdot 10^{-6}}{0,586 \cdot 10^{-9}} = 1,725 \cdot 10^3.$$

Еквівалентний діаметр, м:

$$d_e = 2 \cdot \delta_c = (2 \cdot 0,5) \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3}.$$

Швидкість руху розчину в каналах модуля, м/с:

в першій секції:

$$w_{1f} = \frac{L_f}{\rho_{1f} \cdot S_1 \cdot n_1} = \frac{5}{1,00921 \cdot 10^3 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3} \cdot 5} = 0,138$$

в останній секції:

$$w_{1r} = \frac{L_r}{\rho_{1r} \cdot S_2 \cdot n_5} = \frac{1,787}{1032,5 \cdot 0,012 \cdot 3} = 0,05.$$

Критерій Рейнольдса:

в першій секції:

$$Re_{1f} = \frac{w_{1f} \cdot d_e}{v_{1f}} = \frac{0,138 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{9,338 \cdot 10^{-7}} = 147,373.$$

в останній секції:

$$Re_{1r} = \frac{w_{1r} \cdot d_e}{v_{1r}} = \frac{0,05 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1,011 \cdot 10^{-6}} = 49,563.$$

Швидкість руху розчину в напрямку мембрани:

в першій секції:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 102  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$U_{1f} = \frac{G_f}{\rho_{1f}} = \frac{2,818 \cdot 10^{-3}}{1,00921 \cdot 10^3} = 2,793 \cdot 10^{-6}.$$

в останній секції:

$$U_{1r} = \frac{G_r}{\rho_{1r}} = \frac{2,512 \cdot 10^{-3}}{1032,5} = 2,433 \cdot 10^{-6}.$$

Критерій Пекле:

в першій секції:

$$Pe_{1f} = \frac{U_{1f} \cdot d_e}{D_{1f}} = \frac{2,793 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{-10}} = 4,639.$$

в останній секції:

$$Pe_{1r} = \frac{U_{1r} \cdot d_e}{D_{1r}} = \frac{2,433 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,586 \cdot 10^{-9}} = 4,152.$$

Критерій Шервуда визначається для першої і останньої секції за критеріальними рівняннями.

Якщо виконується умова:

$$100 < Re \cdot Sd \cdot \frac{d_e}{l_p} < 5000;$$

$$Re_{1f} \cdot Sd_{1f} \cdot \frac{d_e}{l_p} = 127,004;$$

$$100 < 127,00 < 5000;$$

$$Re_{1r} \cdot Sd_{1r} \cdot \frac{d_e}{l_p} = 47,491;$$

$$47,491 < 100.$$

Умова в першій секції виконується, а в останній не виконується.

Визначаємо критерії Шервуда в першій секції:

$$Sh_{1f} = 1,67 \cdot Re_{1f}^{0,31} \cdot Sd_{1f}^{0,33} \cdot \left(\frac{d_e}{l_p}\right)^{0,3} = 9,36.$$

Для останньої секції розраховуємо безрозмірний комплекс:

$$\xi_{1r} = \frac{4 \cdot Pe_{1r}^2 \cdot U_{1r} \cdot l_p}{3 \cdot w_r \cdot d_e} = \frac{4 \cdot 4,152^2 \cdot 2,433 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8}{3 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 2,01.$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 103  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

В такому разі критерій Шервуда розраховуємо за рівнянням:

$$Sh_{1r} = \frac{4 \cdot Pe_{1r}}{\ln(\xi_{1r} + 6 + 5 \cdot \exp(-\sqrt{\frac{\xi_{1r}}{3}}))} = 7,147.$$

Коефіцієнт масовіддачі визначається за формулою:

в першій секції:

$$\beta_{1f} = \frac{Sh_{1f} \cdot D_{1f}}{d_e} = \frac{9,36 \cdot 6,02 \cdot 10^{-10}}{1 \cdot 10^{-3}} = 5,635 \cdot 10^{-6}.$$

в останній секції:

$$\beta_{1r} = \frac{Sh_{1r} \cdot D_{1r}}{d_e} = \frac{15,738 \cdot 0,586 \cdot 10^{-9}}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,303 \cdot 10^{-6}.$$

Розраховуємо комплекс:

в першій секції:

$$\chi_{1f} = \frac{U_{1f}}{2,3 \cdot \beta_{1f}} + \log\left(\frac{1 - \phi_i}{\phi_i}\right) = -1,168.$$

в останній секції:

$$\chi_{1r} = \frac{U_{1r}}{2,3 \cdot \beta_{1r}} + \log\left(\frac{1 - \phi_i}{\phi_i}\right) = -1,138.$$

Спостережувана селективність:

в першій секції:

$$\phi_{1f} = \frac{1}{10^{\chi_{1f}} + 1} = \frac{1}{10^{-1,256} + 1} = 0,936.$$

в останній секції:

$$\phi_{1r} = \frac{1}{10^{\chi_{1r}} + 1} = \frac{1}{10^{-1,252} + 1} = 0,932.$$

Середнє значення спостережуваної селективності:

$$\phi = \frac{\phi_{1f} + \phi_{1r}}{2} = \frac{0,947 + 0,947}{2} = 0,934.$$

Концентрація солі у пермеату:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 104  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$x_2 = x_{1f} \cdot \frac{1 - K^{\frac{\phi-1}{\phi}}}{1 - K^{-\frac{1}{\phi}}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1 - 2,685^{\frac{0,934-1}{0,934}}}{1 - 2,685^{-\frac{1}{0,934}}} = 1,234 \cdot 10^{-3}.$$

Витрата пермеату, кг/с:

$$L_p = L_f \cdot \left(1 - K^{-\frac{1}{\phi}}\right) = 5 \cdot \left(1 - 2,685^{-\frac{1}{0,934}}\right) = 3,263.$$

Витрата солі з сировиною, кг/с:

$$G_{cp} = L_p \cdot x_2 = 3,263 \cdot 1,234 \cdot 10^{-3} = 4,026 \cdot 10^{-3}.$$

Витрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісті у початковому розчині, %:

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{4,026 \cdot 10^{-3}}{0,06} \cdot 100\% = 6,71.$$

Умова задовільної селективності:

$$g_{cp} \leq [g_{cp}],$$

$$6,71 < 10.$$

Умова виконується.

*Уточнений розрахунок поверхні мембрани*

Концентрація солі в пермеаті:

в першій секції:

$$x_{2f} = (1 - \phi) \cdot x_{1f} = (1 - 0,934) \cdot 0,012 = 7,884 \cdot 10^{-4}.$$

в останній секції:

$$x_{2r} = (1 - \phi) \cdot x_{1r} = (1 - 0,934) \cdot 0,032 = 2,117 \cdot 10^{-3}.$$

Концентрація солі біля поверхні мембрани з боку розчину, що розділяється: в першій секції:

$$x_{3f} = \frac{x_{2f}}{1 - \phi} = \frac{7,884 \cdot 10^{-4}}{1 - 0,934} = 4,884 \cdot 10^{-3}.$$

в останній секції:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 105  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$x_{3r} = \frac{x_{2r}}{1 - \phi} = \frac{2,117 \cdot 10^{-3}}{1 - 0,934} = 0,013.$$

Для концентрацій, розраховані за формулами визначаються осмотичні тиски [37, додаток Б].

$$\pi_{2f} = 1,9882 \cdot 10^{-4};$$

$$\pi_{2r} = 5,339 \cdot 10^{-4};$$

$$\pi_{3f} = 1,2316 \cdot 10^{-3};$$

$$\pi_{3r} = 3,307 \cdot 10^{-3}.$$

Проникненість мембрани:

в першій секції:

$$G_f = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\pi_{3f} - \pi_{2f}}{\Delta p}\right) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{1,2316 \cdot 10^{-3} - 1,9882 \cdot 10^{-4}}{5}\right) = 2,999 \cdot 10^{-3}.$$

в останній секції:

$$G_r = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\pi_{3r} - \pi_{2r}}{\Delta p}\right) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{3,307 \cdot 10^{-3} - 5,339 \cdot 10^{-4}}{5}\right) = 2,998 \cdot 10^{-3}.$$

Константи системи:

в першій секції:

$$C_f = \frac{G_0 - G_f}{x_{1f}} = \frac{3 \cdot 10^{-3} - 2,999 \cdot 10^{-3}}{0,012} = 0,015.$$

в останній секції:

$$C_r = \frac{G_0 - G_r}{x_{1r}} = \frac{3 \cdot 10^{-3} - 2,998 \cdot 10^{-3}}{0,032} = 0,015.$$

Середня константа системи:

$$C = \frac{G_f - G_r}{2} = \frac{0,015 - 0,015}{2} = 0,015.$$

Площа поверхні мембрани обчислюється за формулою, м<sup>2</sup>:

$$F_p = \frac{L_f \cdot x_{1f}}{G_0} \cdot \left[ -\ln \frac{(G_0 - C \cdot x_{1r}) \cdot x_{1f}}{(G_0 - C \cdot x_{1f}) \cdot x_{1r}} + \frac{1}{x_{1f}} - \frac{1}{x_{1r}} \right] =$$

$$= \frac{5 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[ -\ln \frac{(3 \cdot 10^{-3} - 0,015 \cdot 3,222 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{(3 \cdot 10^{-3} - 0,015 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}) \cdot 3,222 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{3,222 \cdot 10^{-3}} \right] = 1,068 \cdot 10^3.$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 106  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Якщо уточнене значення поверхні відрізняється від наближеного більш ніж на 20%, необхідно повторити розрахунки, починаючи з визначення кількості апаратів за формулою з використанням значення площі поверхні мембран, знайденої за формулою.

$$F_{per} = \frac{|F_p \cdot F|}{F} \cdot 100\% = \frac{|1,068 \cdot 10^3 \cdot 1,205 \cdot 10^3|}{1,205 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 11,382\% < 20\%.$$

Умова виконується.

Висновок: за результатами розрахунку визначено тип необхідної мембрани, площу поверхні мембран, встановлено необхідну кількість мембран, що становить 18. Обчислено габаритні розміри мембранного модуля.

#### 4.3.2 Розрахунок гідравлічного опору

Метою розрахунку є визначення абсолютного тиску та підбору насосу.

Розрахункова схема гідравлічного розрахунку наведена на рисунку 4.13.

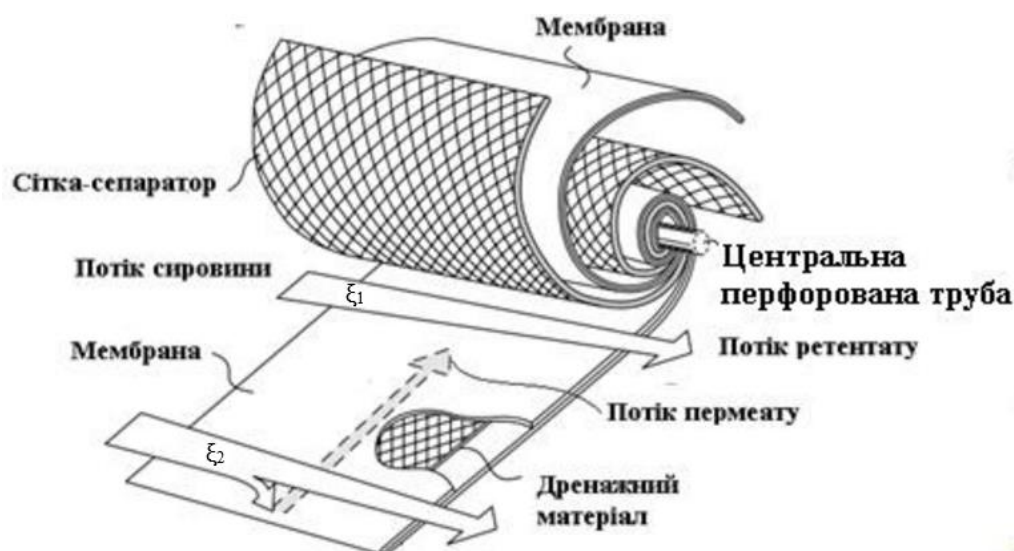


Рисунок 4.19 – Схема гідравлічного розрахунку апарату зворотного осмосу

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 107  |

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [29].

Тиск  $\Delta p_p$ , що розвивається насосом, витрачається на створення перепаду тисків  $\Delta p$ , подолання гідравлічного опору потоку розчину, що розділяється в напірному каналі апаратів  $\Delta p_1$  та фільтрату у дренажних каналах апаратів  $\Delta p_2$ , а також компенсацію втрат на тертя у трубопроводах та подолання місцевих опорів (приймаються  $0,1 \cdot \Delta p_1$ ), Па:

$$\Delta p_p = \Delta p + 1,1 \cdot \Delta p_1 + \Delta p_2.$$

Оскільки  $\Delta p_1$  при розрахунку за формулою з [27] дає занижені значення. Тому для уточнення були проведені дослідження які описані у розділі 4.1.

Розрахунок гідравлічного опору проводим згідно отриманого рівняння в розділі 4.1.

Гідравлічний опір потоку початкового розчину та пермеату становить:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot w^2}$$

$$Re = \frac{147,373 + 49,563}{2} = 98,468.$$

$$Eu = 588 \cdot Re^{-1.476} \cdot \left(\frac{L}{d_e}\right) = 588 \cdot 98,468^{-1.476} \cdot \left(\frac{1,8}{1 \cdot 10^{-3}}\right) = 1,209 \cdot 10^3$$

$$\Delta p_1 = Eu \cdot \rho \cdot w^2 = 1,209 \cdot 10^3 \cdot 1,021 \cdot 10^3 \cdot 0,187^2 = 4,317 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_2 = \xi_2 \cdot \frac{48 \cdot v_2 \cdot l_p^2 (G_f \cdot G_r)}{d_e^2} = 150 \cdot \frac{48 \cdot 9,335 \cdot 10^{-7} \cdot 0,4^2 \cdot (2,818 \cdot 10^{-3} - 2,512 \cdot 10^{-3})}{1^3} = 3,291 \cdot 10^{-7} \text{ МПа.}$$

де  $\xi_2 = 150$  коефіцієнт опору дренажного матеріалу [29].

При визначенні  $\Delta p_1$  загальна довжина каналу дорівнює добутку висоти модуля, кількості модулів в апараті та числа секцій установки:

$$l = l_m \cdot n_m \cdot m = 0,8 \cdot 5 \cdot 5 = 20.$$

Еквівалентний діаметр каналу становить  $2\delta_c$ . Швидкість руху розчину, його густина та в'язкість визначаються як середні в першій та останній секціях і, відповідно, становлять:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 108  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



$$w_1 = \frac{(w_{1f} + w_{1r})}{2} = \frac{0,254 + 0,12}{2} = 0,187.$$

$$\rho_1 = \frac{(\rho_{1f} + \rho_{1r})}{2} = \frac{1,009 \cdot 10^3 + 1,032 \cdot 10^3}{2} = 1,021 \cdot 10^3.$$

$$v_1 = \frac{(v_{1f} + v_{1r})}{2} = \frac{9,338 \cdot 10^{-7} + 1,011 \cdot 10^{-6}}{2} = 9,723 \cdot 10^{-7}.$$

Тиск насосу, МПа:

$$\Delta p_p = \Delta p + 1,1 \cdot \Delta p_1 + \Delta p_2 = 5 + 1,1 \cdot 4,317 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6} + 3,291 \cdot 10^{-7} \\ = 5,051.$$

Напір насоса визначається при густині початкового розчину  $\rho_{1f}$  і становить:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho_{1f} \cdot g} = \frac{5,051 \cdot 10^6}{1,021 \cdot 10^3 \cdot 9,81} = 504,3.$$

Висновок: в результаті проведення гідравлічного розрахунку встановлено гідравлічний опір, абсолютний тиск та визначено параметри насосу.

#### 4.3.3 Розрахунок на міцність одношарової циліндричної обичайки

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію та перевірка її на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.20

Вихідні дані:

Зварний шов – стиковий, виконується ручну з одного боку. Вся довжина контролюється.

Внутрішній діаметр обичайка D, м 0,2;

Розрахунковий внутрішній тиск p, МПа 5;

Розрахунок температура t, °C 20.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [39].

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 109  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

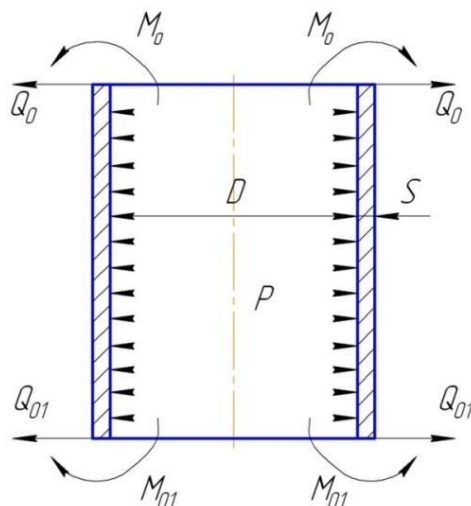


Рисунок 4.20 – Схема розрахунку на міцність одношарової циліндричної обичайки

Коефіцієнт міцності зварного шва визначаємо залежно від виду зварного шва та довжини швів контролюється.

$$\varphi = 0,9$$

Допустиме напруження матеріалу обичайки при розрахунковій температурі

Для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури  $t=20^{\circ}\text{C}$  допустиме напруження  $[\sigma] = \min\left(\frac{\sigma_T}{n_T}; \frac{\sigma_B}{n_B}\right) = \min\left(\frac{196}{1,5}; \frac{490}{2,4}\right) = 130,667 \text{ МПа.}$

Розрахунковий коефіцієнт товстостінності:

$$\beta_R = e^{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}} = e^{\frac{5}{130,667 \cdot 0,9}} = 1,045$$

Товщина стінки обичайки у першому наближенні

$$S' = 0,5 \cdot D \cdot (\beta_R - 1) + C_1 + C_0 = 0,5 \cdot 0,2 \cdot (1,045 - 1) + 2 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} \\ == 7 \cdot 10^{-3},$$

де  $C_0$  додаток на округлення до стандартної товщини листа,

$C_2$  додаток для компенсації корозії та ерозії.

Відношення суми додатків до номінальної товщини листа:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 110  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$\frac{C_2 + C_3}{S'} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3} + 0}{7 \cdot 10^{-3}} = 0,17 \cdot 10^{-3}.$$

де  $C_2$  додаток що передбачає компенсацію мінусового допуску,

Сума додатків розрахункової товщини  $C$ , м:

$$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S'} \leq 0,05, \\ C_1 + C_2 + C_3, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S'} > 0,05. \end{cases}$$

$$\frac{C_2 + C_3}{S'} > 0,05,$$

$$C = C_1 = 2 \cdot 10^{-3}.$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки  $S$ , м:

$$S = 0,5 \cdot D \cdot (\beta_R - 1) + C + C_0 = 0,5 \cdot 0,2 \cdot (1,045 - 1) + 2 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} \\ == 7 \cdot 10^{-3}.$$

Приймаємо  $S = 0,008$  м.

Коефіцієнт товстостійності:

$$\beta = \frac{D + 2 \cdot (S - C)}{D} = \frac{0,2 + 2 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}{0,2} = 1,06.$$

Допустимий тиск, МПа:

$$[p] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \ln \beta = 130,667 \cdot 0,9 \cdot \ln(1,06) = 6,852.$$

Перевірка умови застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,4,$$

$$\frac{8 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}}{0,2} \leq 0,4,$$

$$0,03 < 0,4.$$

Висновок: умова застосування розрахункових формул виконується.

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки  $S=0,008$  м.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 111  |

#### 4.3.4 Розрахунок затвора з плоскою металевою прокладкою

Метою розрахунку є розрахунок затвору, та визначення параметрів прокладки

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.21.

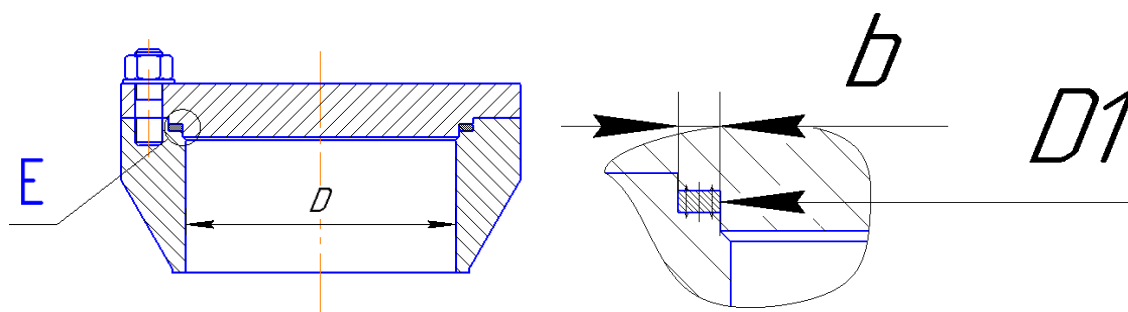


Рисунок 4.21 – Схема розрахунку затвора з плоскою металевою прокладкою

Вихідні дані:

Корпус і кришка ковани

Матеріал корпусу і кришки-12X18H10T.

Матеріал прокладки алюміній.

Внутрішній діаметр корпусу  $D$ , м 0,2;

Внутрішній діаметр ущільнення  $D_1$ , м 0,21;

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ , МПа 5.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [39].

Мінімальне значення границі плинності матеріалу поверхні, що ущільнюється, при розрахунковій температурі, МПа:

$$\sigma_T = 196$$

Допустиме контактне напруження на ущільнювальних поверхнях при розрахунковій температурі, МПа:

$$[\sigma]_K = 0,36 \cdot \sigma_T + 180 = 0,36 \cdot 196 + 180 = 250.$$

Герметизуюче напруження зм'якшення прокладки для розрахункового тиску, МПа:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 112  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$\sigma_n = \begin{cases} 70 \text{ МПа} - \text{для алюмінію} \\ 100 \text{ МПа} - \text{для міді} \\ 180 \text{ МПа} - \text{для сталі з } \sigma_T^{20} \leq 230 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$\sigma_n = 70.$$

Ширина плоскої прокладки, м:

$$b \geq \frac{0,25 \cdot p \cdot D_1}{[\sigma]_K - \sigma_n - 0,25 \cdot p} = \frac{0,25 \cdot 5 \cdot 0,21}{250 - 70 - 0,25 \cdot 5} = 1,469 \cdot 10^{-3}.$$

Приймаємо  $b = 1,5 \cdot 10^{-3}$  м.

Розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні, м:

$$D_R = D_1 + b = 0,21 + 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,211.$$

Осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку, МН:

$$F_Q = \frac{\pi \cdot D_R^2}{4} \cdot p = \frac{\pi \cdot (0,211)^2}{4} \cdot 5 = 0,175.$$

Осьова реакція прокладки, МН:

$$F_p = \pi \cdot D_R \cdot b \cdot \sigma_n = \pi \cdot 0,211 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 70 = 0,07.$$

Розрахункове зусилля, що діє на шпильки, МН:

$$F = F_p + F_Q = 0,07 + 0,175 = 0,245.$$

Товщина прокладки, м:

$$S_{\text{пр}} = \begin{cases} 0,005, & \text{для } 0,4 \leq D_1 \leq 0,5 \\ 0,004, & \text{для } D_1 > 0,5 \end{cases}$$

$$S_{\text{пр}} = 0,005.$$

#### 4.3.5 Розрахунок фланцевого з'єднання апарата високого тиску

Метою розрахунку є розрахувати фланцеве з'єднання, що поширюється на ковані фланці, які з'єднані за допомогою зварювання з одношаровою обичайкою.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.22.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 113  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

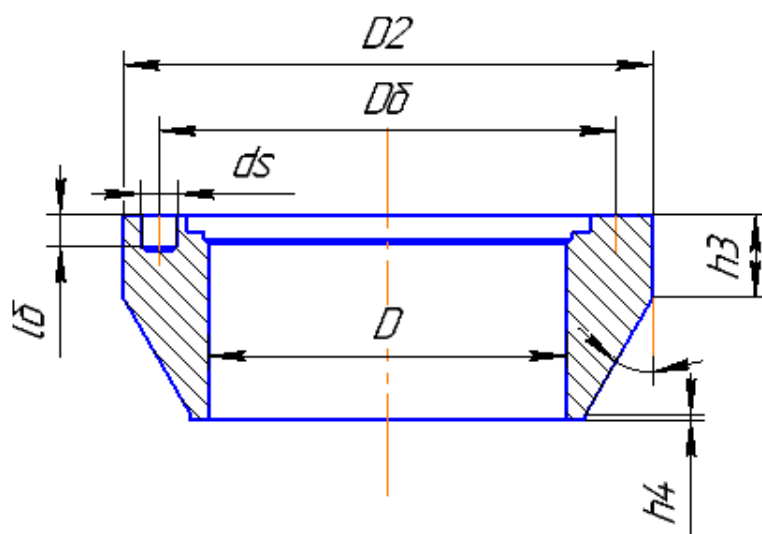


Рисунок 4.22 – Схема розрахунку фланцевого з'єднання апарата високого тиску

Вихідні дані:

Фланець корпусу виконаний кованим.

Матеріал фланців - 12X1Н10Т.

Затвор має ущільнювальне кільце трикутного перерізу

Внутрішній діаметр обичайки корпусу  $D$ , м 0,2;

Розрахунковий внутрішній тиск  $p$ , МПа 5;

Кількість шпильок  $z$  8;

Глибина отвору під шпильки ц фланці  $l_6$ , м 0,04;

Зовнішній діаметр різьби шпильки  $d_s$ , м 0,02;

Виконавча товщина обичайки, що стикується з фланцем  $S$ , м 0,08.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [39].

Діаметр окружності центрів шпильок, м:

$D_6$

$$\geq \max \begin{cases} D + 2 \cdot d_s = 0,2 + 2 \cdot 0,02 = 0,24 \\ \frac{2,2 \cdot d_s}{\sin \frac{180}{z}} = \frac{2,2 \cdot 0,02}{\sin \frac{180}{8}} = 0,115 \\ 1,05 \cdot (D_1 + 2 \cdot b) + d_s = 1,05 \cdot (0,21 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}) + 0,02 = 0,244 \end{cases}$$
$$D_6 \geq \max\{0,24; 0,115; 0,244\}$$

Приймаємо  $D_6 = 0,25$  м.

Зовнішній діаметр фланця, м:

$$D_1 \geq D_6 + 2 \cdot d_s = 0,25 + 2 \cdot 0,02 = 0,29.$$

Кут нахилу твірної конічної частини фланців:

$$\alpha_\phi = 30^\circ.$$

Коефіцієнт міцності зварного шва:

$$\varphi = 0,9.$$

Допустиме напруження матеріалу фланця при розрахунковій температурі, МПа:

$$[\sigma] = \min \left( \frac{\sigma_T}{n_T}; \frac{\sigma_B}{n_B} \right) = \min \left( \frac{196}{1,5}; \frac{490}{2,4} \right) = 130,667.$$

Розрахунковий коефіцієнт товстостійності:

$$\beta_R = e^{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}} = e^{\frac{5}{130,667 \cdot 0,9}} = 1,045$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної частини фланця, що стикається з обичайкою корпусу, м:

$$S_{\phi R} = 0,5 \cdot D \cdot (\beta_R - 1) = 0,5 \cdot 0,2 \cdot (1,045 - 1) = 4,5 \cdot 10^{-3}.$$

Радіус переходу від конічної частини фланця до циліндричного корпусу:

$$r_n \geq S_{\phi R},$$

$$r_n \geq 4,5 \cdot 10^{-3}.$$

Приймаємо

$$r_n = 4,5 \cdot 10^{-3}.$$

Сума додатків до розрахункової товщини:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 115  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-3} + 0 = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної частини фланця, що стикується з обичайкою корпусу, м:

$$S_{\phi} = \max\{S_{\phi R} + C + C_0; S\} = \max\{0,0045 + 0,0032 + 0,0003; 0,008\} = 0,08$$

Коефіцієнт товстостінності:

$$\beta = \frac{D + 2 \cdot (S - C)}{D} = \frac{0,2 + 2 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 3,2 \cdot 10^{-3})}{0,2} = 1,048.$$

Допустимий тиск, МПа:

$$[p] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \ln \beta = 126,667 \cdot 0,9 \cdot \ln(1,06) = 6,852.$$

Перевірка умови застосування розрахункових формул:

$$\begin{aligned} \frac{S - C}{D} &\leq 0,4, \\ \frac{8 \cdot 10^{-3} - 3,2 \cdot 10^{-3}}{0,2} &\leq 0,4, \\ 0,024 &< 0,4. \end{aligned}$$

Висота циліндричної частини фланця корпусу, м:

$$\begin{aligned} h_3 &\geq l_6 + 0,25 \cdot d_s \text{ при } \alpha_{\phi} \leq 30^{\circ}, \\ h_3 &= l_6 + 0,25 \cdot d_s = 0,04 + 0,25 \cdot 0,02 = 0,045. \end{aligned}$$

Висота циліндричної частини фланця, який стикується з обичайкою, м:

$$\begin{aligned} h_4 &\geq 0,7 \cdot S_{\phi R} \text{ при } \alpha_{\phi} \leq 30^{\circ} \\ h_4 &= 0,7 \cdot S_{\phi R} = 0,7 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} = 3,15 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Приймаємо  $h_4 = 3,2 \cdot 10^{-3}$

Висновок: Визначено виконавчу товщину стінки циліндричної частини фланця, що стикується з обичайкою корпусу, яка дорівнює 8 мм.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 116  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



#### 4.3.6 Розрахунок шпильок на міцність

Метою розрахунку є розрахувати параметри шпильки, та перевірити їх на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.23.

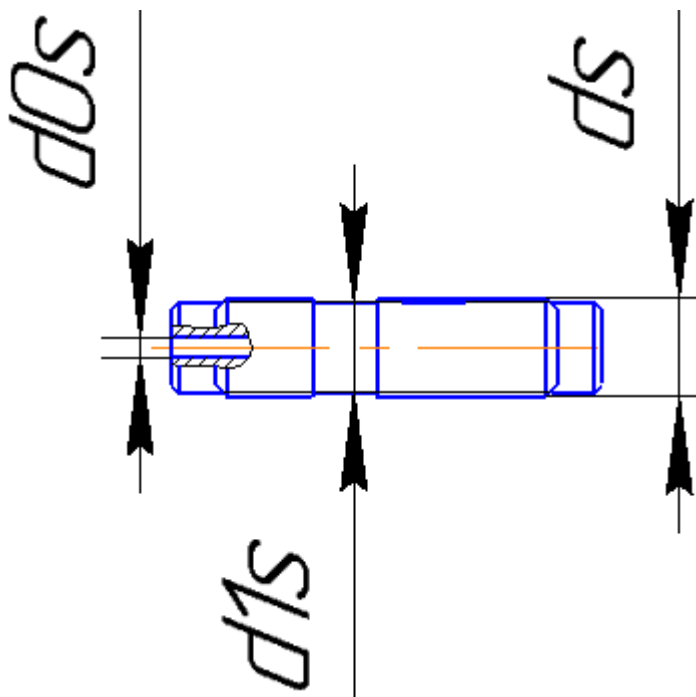


Рисунок 4.23 – Схема розрахунку шпильок на міцність

Вихідні дані:

Шпильки виконані зі сталі 35 і не мають центрального отвору.

Матеріал корпусу – 12X18Н10Т.

Ущільнення - з трикутною прокладкою.

Кількість шпильок  $z$  8;

Мінімальне значення границі плинності матеріалу шпильок при розрахунковій температурі  $\sigma_{TS}$ , МПа 315;

Мінімальне значення границі міцності матеріалу шпильок при розрахунковій температурі  $\sigma_{BS}$ , МПа 530;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 117  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Мінімальне значення границі міцності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі  $\sigma_{BK}$ , МПа 490;  
 Внутрішній діаметр корпусу D, м 0,2;  
 Розрахунковий внутрішній тиск p, МПа 5;  
 Розрахункове зусилля, що діє на шпильки F, МН 0,3.  
 Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [39].

Коефіцієнт що враховує тангенціальні напруження у шпильці при затягуванні:

$$K_{1S} = \begin{cases} 1,1 - \text{для випадку затягування шпильок ущільнення плоскою прокладкою прикладенням крутильного моменту} \\ 1,0 - \text{для інших випадків} \end{cases}$$

$$K_{1S} = 1,0$$

Коефіцієнт що враховує нерівномірність розподілу навантаження поміж шпильками:

$$K_{2S} = \begin{cases} 1,1 - \text{при рівномірному зптягуванню шпильк у границях 10\% і контролю подовжень або зусиль у всіх шпильках} \\ 1,3 - \text{якщо в процесі затягування у шпильках вимірюються подовження або зусилля} \\ 1,5 - \text{для інших випадків} \end{cases}$$

$$K_{2S} = 1,5$$

Допустиме напруження матеріалу шпильки при розрахунковій температурі, МПа:

$$[\sigma]_s = \frac{\sigma_{TS}}{n_T} = \frac{315}{1,5} = 210.$$

Розрахунковий діаметр стержня шпильки, м:

$$d_{1SR} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot K_{1S} \cdot K_{2S} \cdot F}{\pi \cdot z \cdot [\sigma]_s}} + d_{0S}^2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,3}{\pi \cdot 8 \cdot 210}} + 0 = 0,018.$$

Зовнішній діаметр різьби, м:

Приймаємо  $d_S = 0,02$  м.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 118  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Середній діаметр різьби, м:

$$d_{2S} = 0,0184.$$

Внутрішній діаметр різьби, м:

$$d_{3S} = 0,0173.$$

Виконавчий діаметр стержня, м:

Приймають з умови:

$$d_{3S} \leq d_{1S} \leq 0,5 \cdot (d_{2S} + d_{3S}),$$
$$0,0173 \leq d_{1S} \leq 0,5 \cdot (0,0184 + 0,0173).$$

Приймаємо  $d_{1S} = 0,0178$  м.

Співвідношення механічних характеристик різьбової пари:

$$\frac{\sigma_{BS}}{\sigma_{BK}} = \frac{530}{490} = 1,08.$$

Розрахункова довжина згвинчування різьби, м:

$$l_R = \begin{cases} 1,2 \cdot d_S \text{ при } \frac{\sigma_{BS}}{\sigma_{BK}} \leq 1,5 \\ 0,5 \cdot d_S \cdot \left(1 + \frac{\sigma_{BS}}{\sigma_{BK}}\right) \text{ при } 1,5 < \frac{\sigma_{BS}}{\sigma_{BK}} \leq 2,0 \end{cases}$$
$$l_R = 1,25 \cdot 0,02 = 0,025.$$

Крок різьби, м:

$$t_S = 0,0025.$$

Перевірка умови застосування розрахункової формули для визначення довжини згвинчування різьби:

$$\frac{d_S}{t_S} \leq \begin{cases} 20 \text{ для } 0,0025 \text{ м} \leq t_S < 0,006 \text{ м} \\ 33 \text{ для } t_S = 0,006 \end{cases}$$
$$\frac{0,02}{0,0025} = 8 < 33.$$

Умова застосування розрахункової формули виконується.

Висновок: Розраховані параметри шпильки. Обрана шпилька з  $d_S = 0,02$ .

Та перевірені умови міцності.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 119  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Найсучасніщі виробництва і виробництва довгого використання мають забезпечувати умови робочому персоналу до вимог техніки безпеки і охорони праці, які затверджені законом України “Про охорону праці”, яка набула чинності у 1993.[]

Тема десиртації: Модернізація гібридної установки для знесолення морської води з використанням дистиляції та зворотнього осмосу

Травматичними факторами і можливості ураження обслуговуючого персоналу, а також фактори які можуть вплинути на здоров'я людини є:

- повітря робочої зони;
- ураження електричним струмом;
- пожежонебезпека.

### 5.1 Контроль параметрів робочої зони

За параметрами процесу здійснює перевірку оператор на лінії, робоче місце якого знаходиться в операторській кімнаті, площею 7,8 м<sup>2</sup> і об'ємом 29,5 м<sup>3</sup> та висотою 3м.

Після розгляду технологічного процесу отримуємо приміщення яке не виділяє зайве тепло, тобто  $Q < 20$  ккал/год м<sup>3</sup> або  $Q < 23.27$  Дж/с. м<sup>3</sup> Такі роботи відносяться до інтенсивністю енерговитрат до 120 ккал / год (до 139 Вт), адже ж вони мають загалом сидячий тип роботи.

Основні показники параметрів для сидячої категорії роботи оператор показані в таблиці 5.1.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 120  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Таблиця 5.1 – Параметри повітря робочої зони та оптимальні умови роботи

| Період року | Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт | Температура повітря, °С | Відносна вологість повітря, % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-------------|--|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Холодний    | Легка 1а                                   | 20-22                   | 60-40                         | 0,1                         |
| Теплий      | Легка                                      | 21-23                   | 60-40                         | 0,1                         |

Для підтримки необхідної температури тепла необхідно використовувати кондиціонування повітря, що забезпечить автоматичну підтримку рівня вологості і температури у всіх робочих зонах. Для забезпечення людей, які знаходяться під впливом метеорологічних умов встановлюються установки забезпечення мікроклімату. Установки такого типу автоматично забезпечують мікроклімат. Завдяки кондиціонуванню на виробництві забезпечується необхідна температура і мікроклімат.

Санітарні вимоги до вентиляції на виробництві визначаються нормативними актами і правилами (далі СніП2.04.05 —91). Для нормальної і ефективної роботи необхідно щоб вентиляція була спроектована належним чином..

Кількість необхідного повітря на виробничій зоні встановлюється після певних розрахунків і необхідних параметрів робочої зони. Загалом розрахунок ведеться по наданню тепла і кількості виділення шкідливих речовин (пилу, газів, парів).

Коли волога, шкідливі речовини і відпрацьоване повітря одночасно потрапляють до системи вентиляції встановлюється повітрообмін.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 121  |

Також система вентиляції не має бути осередком шуму і забруднювати навколишнє середовище. При експлуатації система очищується і ремонтується.

Вимоги до сталюого балону малого і середнього об'єму на робочий тиск менше 19,6 МПа регламентується ГОСТ949-73, а до сталюих балонів більшого об'єму для газів на тиск менше 25 МПа ГОСТ 9731-79.

На поверхні кожного балону повинно бути нанесено клеймо з наступними даними: товарний знак, номер балону, дати виготовлення, рік випробування, вид термообробки, робочий тиск, об'єм балону, маса балону.

Захист органів дихання

Повітряний апарат МПА (Рис.) захищає дихальні органи та зорові.



Рисунок– Повітряний апарат МПА

Забезпечення цих параметрів у холодний період року використовуємо опалення, кондиціонування повітря. Відповідно до цих заходів робочі приміщення відповідають ДСН 3.3.6.042-99. Установлена вентиляцію, бо виділяються гранично допустимі умови викидів солей.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 122  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 5.2 Ураження електричним струмом

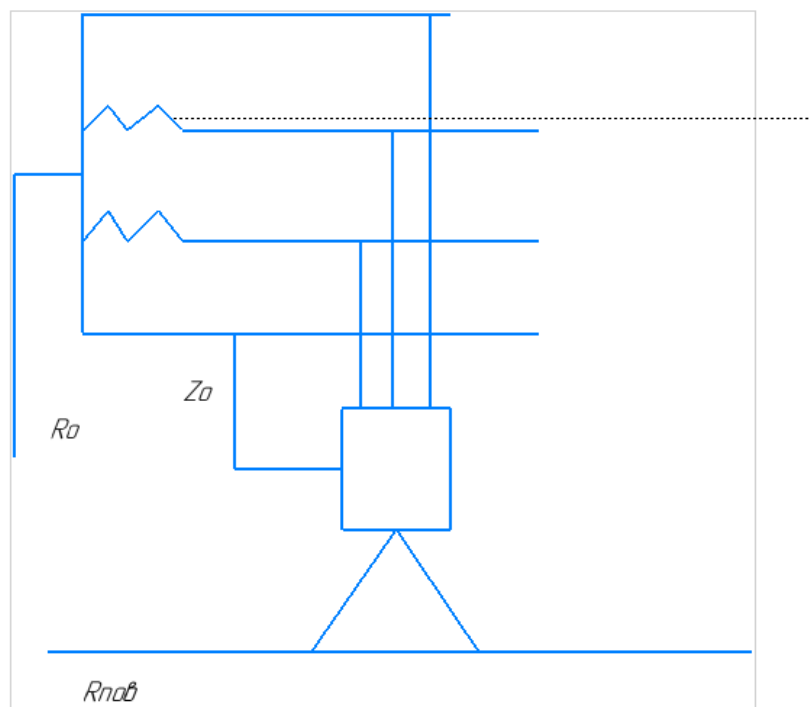
В приміщенні підлога виготовлена з залізобетону, отже відповідно до ПУЕ приміщення є з підвищеною безпекою.

Причини враження електричним струмом: старіння ізоляції, пробій на корпус, відсутність ізоляції, помилкове включення/відключення.

Заходи в нормальному/робочому режимі:

- номінальної напруги, роду і частоти струму електроустановки;
- безпечні способи електропостачання;
- ізольовані джерела струму;
- безпечні види електроустановки (стаціонарна, пересувна, переносна);
- умов зовнішнього середовища відповідно до класифікації ПУЕ (особливо небезпечні приміщення, приміщення підвищеної небезпеки; приміщення без підвищеної небезпеки; на відкритому повітрі);
- заземлення;
- характеру можливого дотику людини до елементів ланцюга струму (однофазне дотик; двофазне дотик; дотик до металевих; частинам, які опинилися під напругою);
- неможливість наближення до небезпечних ділянок струмопроводу;
- видів робіт (монтаж, налагодження, випробування, експлуатація електроустановок).

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 123  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



$$z = 0,1 - 0,2 \text{ Ом}$$

$$z_o = 0,2 - 0,4 \text{ Ом}$$

$$I_{k.3} = \frac{U}{z + z_0} = \frac{220}{0,4 + 0,2} = 366,66 > 300 \text{ А}$$

Захист у разі непрямого дотику-захист, який запобігає ураженню людини електричним струмом у разі одиночного ушкодження.

Для запобігання ураження струмом у разі пошкодження ізоляції слід застосувати окремо або у поєднанні такі засоби захисту в разі непрямого дотику:

- 1)Токострумні частини знаходяться на висоті, що забезпечує безпеку.
- 2)Використовуються блокіровки в механічних апаратах.
- 3)Використання електричної блокіровки
- 4)Маркировка усіх частин електрооборудування.
- 5)Використання захисного заземлення.
- 6)автоматичне вимикання
- 7)система малої напруги

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 124  |



8)обладнання захисного класу

Для захисту від ураження струмом навіть , якщо номінальна напруга ЕУ перевищує 50 В змінного і 120 В постійного струму необхідно робити захист від прямого дотику.

### 5.3 Пожежна безпека та надзвичайні ситуації

Легкозаймисті речовинами являються столи, стільці, обладнання лабораторії.

Операторська, де в робочу зміну знаходиться оператор за установкою має категорії В (ОНТП-24-86).. Вогнестійкість споруди за ПУЕ відповідає ступеню II. Згідно ПУЕ клас зони установки II-ІІа.

Система попередження пожеж: по всьому периметру поставлені датчики реагування на дим. Також поставлені порошкові вогнегасники типу САМ-6. Це порошковий вогнегасник ДСТУ 3105 П-2АПМ, П-2АП ТУ У 6-05766362.001 Вексон -АВС 50 ТУ 2149-028-10968286. Має вмістимість корпусу 8,2 л. Маса його 6 кг. Вогнегасник працює 330 секунд безперервно. Працює при температурах -20 С до + 50 С. Робочий тиск 1,4 МПа. Робочий газ в вогнегаснику воздух чи азот.

Також на стінах весять переносні вогнегасники. Такі вогнегасники працюють за принципом використанням енергії сжатого газу. Берем переносний вогнегасник ОП-5(з). Це порошковий вогнегасник відповідно ДСТУ-3105-95. Вмістимість корпусу 6,5 літрів. Маса переносного вогнегасника 10 кг. Строк служби 10 років. Ранг вогнегасника 89В/9А.

Необхідно виконувати техніку безпеки при експлуатації балонів . балон повинен бути розрахован так щоб при гидравлічному испытанні не перевищує 90% пределу текучості. На верхній частині балону ясно нанесені клеймані наступні данні: товарний знак заводу-производителя, номер балону, дата виготовлення, від термообработки, робочий тиск, об'єм балону, маса балону.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 125  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Також забезпечити Шляхи евакуації по всьому підприємстві і своєчасне навчання всіх працівників.

### Надзвичайні ситуації

Вибух масою 300т стався біля цеху на відстані 800м.

Характеристики:

Тип споруди – залізобетонна;

верстати – великої маси;

місце знаходження кабелів – наземні;

контрольно-вимірювальна апаратура – наявна;

границя спроможності несучості стін– 2 год;

вогнестійкість перегородок– 0,25 год.

Категорія виробництва з пожежної безпеки – В.

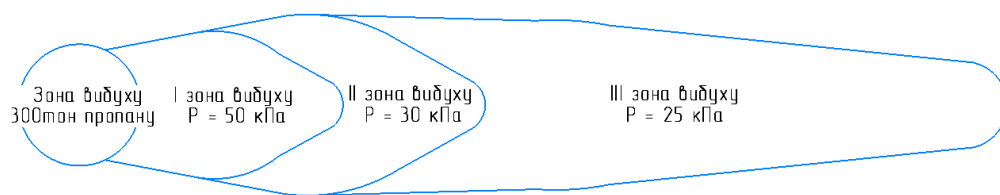
Щільність забудови об'єкту – 25%.

Розрахункова частина:

Зона I :  $r_1 = 117\text{м}$ ;

Зона II:  $r_2 = 199\text{м}$ ;

Висновок: після вибуху об'єкт знаходиться в межах цієї зони.



$\Delta P_f = 25, \text{кПа}$ .

Степінь руйнації споруди – середня.

Характеристика руйнування:

Руйнування даху, легких внутрішніх перегородок, в капітальних стінах з'являються тріщини;

Степінь руйнування верстатів – слабкі.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 126  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Характеристика руйнувань виробництва:

Руйнування вимірювальної апаратури – сильні;

Руйнування кабелів – слабкі;

Ураження робочих – від прямої дії – слабкі.

Характеристика уражень робочих:

Ступінь вогнестійкості – III;

Отримана пожежнанабезпека:

Виробництво категорії В пожежонебезпеки, вогнестійкість будівлі – III, при надмірному тиску 25 кПа і щільності забудови більше 20% можна очікувати в перші 30 хвилин окремі пожежі з переростанням за 1...2 год в суцільну.

Безпечна кількість вибухової речовини - менше 50 т.

Визначаємо безпечну кількість пропану для уникнення будь-яких руйнувань, тобто контрольно- вимірювальна апаратура вціліє , якщо кількість пропану буде менше 15 т.

Висновки: отже вибух відбувся на відстані від виробництва на 800 м. Це призвело до руйнування будівлі, є постраждалі. Сповіщаємо про надзвичайну ситуацію.

Рекомендації, які спрямовані для збереження цеху:

- 1) встановлення додаткових колон ;
- 2) закріплення всіх верстатів і апаратури на фундаменті;
- 3) заземлення, прокладання кабельних ліній під землею;
- 4) створення запасу контрольно-вимірювальної апаратури;
- 5) встановлення металевої сітки на вітках;
- 6) установити і контролювати стан вогнегасників та протипожежних систем;
- 7) зменшення кількості вибухонебезпечних речовин.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 127  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарата

Точність складання та монтажу необхідна для забезпечення роботи апаратів без збоїв та аварійних зупинок. Важливим питанням є точність вивірення взаємного положення вузлів та деталей. Розробка робочої документації на апарати включає в себе стадію розробки спеціальної монтажної документації відповідно до галузевого стандарту ОСТ 26.08.2017. Частина вимог до монтажу та експлуатації вказується в технічних вимогах на складальних кресленнях (в окремих випадках на кресленнях загального виду). Вимоги до монтажу передбачені вимогами СНП 3.05.05.

Монтажні та складальні роботи починаються зі встановлення апарата на фундаменті або рамі, після чого відбувається приєднання допоміжного устаткування, яке включає приєднання трубопроводів, засобів підведення і відведення продуктів, встановленні контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації. Наступним кроком є виявлення дефектів конструкції та апаратури та оперативного їх усування. Після цього здійснюються пускові та налагоджувальні роботи.

Перевірку встановлення апаратів у вертикальному чи горизонтальному положенню необхідно здійснювати за допомогою теодоліту та рівня. Перед заливанням підливки фундаменту необхідно вирівняти апарати по осях.

Монтаж апарату зворотного осмосу.

Послідовність монтажно-складальних робіт для мембранного апарату зворотного осмосу згідно проектно-конструкторської документації така:

- З'єднання модулів між собою за допомогою втулок. Ущільнення забезпечується гумовими кільцями.
- Встановлення з'єднаних між собою модулів у корпусі. Ущільнення забезпечується манжетами на модулях.
- Встановлення кришок на торцях модуля і закручування шпильок на фланцевому з'єднанні.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 128  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

- Встановлення апарата на рамі.
- Приєднання трубопровідної арматури за допомогою фланцевих з'єднань.

Теплообмінний апарат

Проектом складальних і монтажних робіт для теплообмінника є складання послідовних операцій:

- Встановлення корпусу апарата на опорах на фундаменти
- Приєднання кришок за допомогою фланцевого з'єднання
- Приєднання трубопроводів

Теплообмінний апарат

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 129  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Апарат зворотного осмосу

Загальна кількість деталей  $N=20$ , з них стандартних  $n_c=13$ , уніфікованих  $n_y=4$  і унікальних  $n_{ун}=3$ .

Коефіцієнт стандартизації [33]

$$K_c = n \cdot c \cdot N = 4 \cdot 13 \cdot 20 = 1040 = 0,4$$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [33]:

$$K_c = n \cdot c + n \cdot y \cdot N = 4 \cdot 13 + 4 \cdot 3 \cdot 20 = 292 = 0,74$$

Теплообмінник

Загальна кількість деталей  $N=23$ , з них стандартних  $n_c=18$ , уніфікованих  $n_y=2$  і унікальних  $n_{ун}=3$ .

Коефіцієнт стандартизації [33]

$$K_c = n \cdot c \cdot N = 18 \cdot 23 = 1414 = 0,78$$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [33]:

$$K_c = n \cdot c + n \cdot y \cdot N = 18 + 2 \cdot 23 = 164 = 0,54$$

При розробці технічного проекту встановлюється коефіцієнт застосування стандартних деталей  $K$ . Виходячи з того, що майже всі обрані деталі апарата є стандартними, то і значення  $K$  є досить високим для обох апаратів.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 130  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 8. Розроблення стартап проекту

### 8.1. Опис ідеї проекту

У основу розробки стартап-проекту покладено ідею повторного очищення мембранних модулів. А саме, пропонується переочистка мембран, з метою повторного їх використання, що дозволяє значно здешевити вартість води для споживача. В 21 столітті перед людством постала проблема отримання і її споживання. Тому ідея стартапу є актуальною.

Очищення води з допомогою мембранних модулів затратна і наноситиме шкоду навколишньому середовищу то ідея з очищення використаних мембранних модулів поліпшує становище пропонованої стартап-ідеї в світі.

У таблиці 8.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї  | Напрямки застосування   | Вигоди для користувача   |
|---|---|--|
| Регенерація мембранних модулів для їх повторного використання | 1. Аграрна промисловість<br>2. Фармацевтична промисловість<br>3. Хімічна промисловості.<br>4. Очищення води | 1. Здешевлення вартості мембрани порівняно з новими.<br>2. Підвищена кількість повторного використання<br>3. Турбота про екологію. |

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик. Оскільки аналогічних послуг на ринку не виявлено, порівняння буде проводитись з продавцями нових мембранних модулів. Найбільш популярними торговими марками є RemontOsmos та ВОДА ВОЗДУХ, таблиця 8.2.

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентами:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 131  |

- визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначено попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів–замінників чи товарів–аналогів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) в) кращі значення (S, сильні), наведено в таблиці 8.2 [].

Таблиця 8.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| Техніко-економічні характеристики ідеї  | (потенційні) товари/концепції конкурентів |  |             | W(слабка сторона) | N (нейтральна сторона) | S (сильна сторона)) |
|---|---|--|-------------|-------------------|------------------------|---------------------|
|   | Мій проект                                | RemontOsmos                              | ВОДА ВОЗДУХ |                   |                        |                     |
| Асортимент обладнання                   | Можливість відновлення будь-якого модуля  | Не завжди обладнання є наявним на складі |             | -                 | -                      | +                   |
| Кількість разів повторного використання | 5   | 0  |             | -                 | -                      | +                   |
| Вартість послуги                        | Вартість з одиницю сягає від 400 грн      | Вартість з одиницю сягає від 700 грн     |             | -                 | -                      | +                   |



Поштовхом до рішення об'єднання клітинок для обох конкурентів є спільні їх ознаки, або невелике їх коливання.

Визначений перелік сильних (асортимент обладнання, кількість разів повторного використання, вартість послуги) характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

## 8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Гранулятор забезпечує стійке протікання процесу зневоднення рідких композитних систем в псевдозрідженому шарі, одержання готового продукту заданого фракційного складу та розміру, оперативне керування процесом, зміну необхідних експериментальних величин і технологічних параметрів процесу.

Опис технологічного процесу регенерації мембранних модулів з наведено в пункті 8.1.

Таблиця 8.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п   | Ідея проекту     | Технології її реалізації                            | Наявність технологій                                      | Доступність технологій                          |
|---|------------------|---|---|---|
| 1   | Шлях регенерації | Регенерація проходить гідродинамічним методом       | Дані технології існують. В доробці їх є необхідності.     | Дані технології знаходяться відкритому доступі. |
| 2   | Шлях регенерації | Регенерація проходить за допомогою хімічних речовин | Дані технології існують. В доробці їх немає необхідності. | Дані технології знаходяться відкритому доступі. |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту:<br>1 – Регенерація гідродинамічним методом з використанням пульсацій |                  |   |   |   |

Проаналізувавши технологічну здійсненність проекту можна зробити висновок, що проект можна реалізувати. Для реалізації проекту обрано технологію регенерації мембранних модулів гідродинамічним методом зважаючи на необхідність цих методів в доробці.

### 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Для цього спочатку проводився аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 8.4.

Середня норма рентабельності в галузі 20% вища ніж середній банківський відсоток на вкладення 15%. За попереднім оцінюванням можна сказати, що ринок є привабливим для входження [47].

Таблиця 8.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| Показники стану ринку (найменування)                        | Характеристика                    |
|---|-----------------------------------|
| Кількість головних гравців, од                              | 5                                 |
| Загальний обсяг продаж, млн грн                             | 9,8                               |
| Динаміка ринку (якісна оцінка)                              | Зростає                           |
| Наявність обмежень для входу<br>(вказати характер обмежень) | Фінансові, особистісні,<br>цінові |
| Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %     | 20                                |

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 8.5.

Таблиця 8.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| Потреба, що формує ринок   | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів | Вимоги споживачів до товару   |
|--|--|---|---|
| Потреба у багаторазовому повторному використанні мембранних модулів. | Підприємства, що займаються очисткою води  | Потенційна група клієнтів одна, тому відмінностей немає.          | - якість води (кількість солей та мінералів);<br>- економічна ефективність;<br>- низька ціна. |

Після визначення потенційних груп клієнтів проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 8.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 8.7. Фактори в таблицях подано в порядку зменшення значущості [47].

Таблиця 8.6 – Фактори загроз

| Фактор   | Зміст загрози  | Можлива реакція компанії  |
|--|--|---|
| Висока вірогідність появи нових конкурентів                              | Тенденції зміни числа конкурентів  | Зниження ціни   |
| Політичні конфлікти між країнами   | Може вплинути на продаж послуги  | Зміна напрямків роботи  |
| «Закони України про ліцензування певних видів господарської діяльності». |  |   |
| «Закон України про підприємницьку діяльність                             | Може вплинути на працездатність проекту,<br>Недостатня підтримка державою нових підприємців.<br>Дорого вартісні ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії. | Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця   |
| Консервативність поглядів споживачів                                     | Небажання споживачів використовувати інноваційні рішення   | Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність використання мембран, як модернізацію (альтернатива – повної заміни обладнання) |

Таблиця 8.6 – Фактори можливостей

| Фактор                    | Зміст можливості                                      | Можлива реакція компанії  |
|---------------------------|---|---|
| Науково-технічний прогрес | Поява нової технології регенерації мембранних модулів | Розробка нового обладнання та технології. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію |

| Продовження таблиці 8.6              |  |   |
|--------------------------------------|--|---|
| Зростання населення                  | Збільшення попиту на регенерацію мембран             | Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому   |
| Консервативність поглядів споживачів | Небажання споживачів використовувати нові технології | Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність використання вже існуючих мембран і нічого не змінювати |

Отже, було сформовано можливу реакцію компанії появи нових загроз та можливостей. Після чого проводився аналіз пропозиції: визначалися загальні риси конкуренції на ринку, таблиця 8.8.

Таблиця 8.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища                | В чому проявляється дана характеристика  | Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною) |
|---|--|--|
| 1. Тип конкуренції :<br>Монополістична конкуренція  | Є безліч компаній, що надають різноманітні послуги і що конкурують між собою. Вхідні і вихідні бар'єри існують, але невисокі. Послуги кожного виробника відрізняються якимись особливостями. | Створення послуг під замовлення.<br>Очистка мембран будь-якого розміру.                |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби:<br>Національна  | Створення чогось нового  | Створення унікальної технології  |
| Продовження таблиці 8.8                             |  |  |
| 3. За галузевою ознакою:<br>Міжгалузева             | Конкуренція за більш вигідні умови   | Удосконалення структури послуг відповідно до потреб.                                   |
| 4. Конкуренція за видами товарів:<br>Товарно-видова | Зосередження конкурентоспроможності на якості послуг   | Постійний моніторинг ринку щодо появи технологій замінників.                           |

|  |   |  |
|--|---|--|
| 5. За характером конкурентних переваг:<br>Цінова | Головним засобом боротьби є ціна  | Зменшення ціни (за рахунок зменшення витрат).  |
| 6. За інтенсивністю:<br>не марочна               | Репутація проекту<br>Для просування проекту необхідно зарекомендувати себе на ринку праці.<br>Поступово збільшувати канали збуту, підвищувати кількість партнерів і користувачів. | Створення високого рівня ділової репутації, що сприятиме впізнаваності стартапу.<br>Створення власного логотипу, реклама в соціальних мережах, збільшення ділових контактів. |

#### 8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, таблиця 8.9).

Таблиця 8.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| Складові аналізу | Прямі конкуренти в галузі          | Потенційні конкуренти               | Постачальники                         | Клієни                       | Товари-замінники                 |
|------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
|                  | Навести перелік прямих конкурентів | Визначити бар'єри входження в ринок | Визначити фактори сили постачальників | Визначити фактори споживачів | Фактори загроз з боку замінників |

|           |   |   |   |   |  |
|-----------|---|---|---|---|--|
| Висновки: | Фірми, що надають схожі послуги (фірми поставки води) | Можливості в ходження в ринок є, оскільки потребується очищення великої кількості мембран | Транспортування мембранних модулів відбувається своїми силами | Клієнту завжди не-обхідне: Конкурентно спроможні послуги за низькою ціною | Ми маємо конкурентну перевагу – це нижча ціна, та унікальна технологія багаторазового використання |
|-----------|---|---|---|---|--|

Можна зробити висновок, що для того, щоб проект був конкурентоспроможним на ринку, він повинен бути інноваційним та маловитратним, щоб подолати всі бар'єри на стадії розвитку. Та з огляду на конкурентну ситуацію на ринку, доведено потенційні можливості існування стартапу.

На основі аналізу конкуренції, таблиця 8.9, а також із урахуванням вимог споживачів до товару, таблиця 8.5, та факторів маркетингового середовища, таблиці 8.6-8.7, визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [47], таблиця 8.10.

Таблиця 8.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Фактор конкурентоспроможності | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим) |
| Ціна                          | Зменшення вартості продукції за рахунок малокомпетентності системи. .                               |
| Екологічність                 | Безвідходне виробництво, зменшення витрат.  |

| Продовження таблиці 8.10                |  |
|---|--|
| Можливість виходу на закордонний ринок  | Впровадження системи не тільки на території України                            |
| Адаптованість продукту на суміжні ринки | Можливість адаптування продукту на суміжні ринки. Адже ж чиста вода необхідна. |

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 8.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 8.11).

Таблиця 8.11. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

| Фактор конкурентоспроможності         | Бали 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом |    |    |         |         |    |    |
|---------------------------------------|-----------|---|----|----|---------|---------|----|----|
|                                       |           | -3  | -2 | -1 | 0       | +1      | +2 | +3 |
| Ціна                                  | 20        |   |    |    |         | □,<br>△ | ○  |    |
| Екологічність                         | 20        |   |    |    |         |         |    | ○  |
| Можливість виходу на закордонні ринки | 10        |   |    |    | □,<br>△ |         | ○  |    |
| Адаптування продукту на суміжні ринки | 10        |   |    |    | □,<br>△ |         | ○  |    |

Сильні сторони проекту: безвідходність виробництва, а також менша ціна за такі самі послуги. Слабкі сторони проекту є невпізнаність проекту на ринку.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)), таблиця 8.12, на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, таблиця 8.12 [47].

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 140  |



Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 8.12 - SWOT аналіз стартап-проекту

|   |  |
|---|--|
| <p><i>Сильні сторони:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Унікальність технології</li> <li>2. Енергоефективність. робота за вільним графіком працівників</li> <li>3. Ефективність</li> <li>4. Робота за вільним графіком працівників</li> <li>5. Відносно великий асортимент послуг, що надаються;</li> <li>6. Універсальність застосування модернізованого обладнання</li> </ol> | <p><i>Слабкі сторони:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Малий досвід роботи на ринку</li> <li>2. Низька дохідність проекту.</li> <li>3. Необхідність купівлі імпортої установки</li> </ol> |
|---|--|

Продовження таблиці 8.12

|   |   |
|---|---|
| <p><i>Можливості</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Створення нових технологій регенерації</li> <li>2. Залучення до співпраці фахівців в інженерії</li> <li>3. Модернізація та проектування нового обладнання</li> </ol> | <p><i>Загрози</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поява нових конкурентів</li> <li>2. Політичні конфлікти між країнами</li> <li>3. Вимушена модернізація виробництва</li> </ol> |
|---|---|

|                   | Можливості |   |   | Загрози |   |   |
|-------------------|------------|---|---|---------|---|---|
| Сильні<br>сторони | -          | + | - | +       | - | + |
|                   | +          | + | - | +       | - | - |
|                   | +          | + | - | -       | - | + |
| Слабкі<br>сторони | +          | - | - | +       | + | - |
|                   | -          | + | - | -       | + | - |
|                   | -          | - | + | -       | - | - |

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.13).

Таблиця 8.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| Альтернатива<br>(орієнтовний комплекс<br>заходів) ринкової<br>поведінки | Ймовірність<br>отримання ресурсів | Строки реалізації |
|---|-----------------------------------|-------------------|
| <b>Загарбник</b>  | Значні                            | Максимум рік      |
| <b>Наступник</b>  | Суттєві                           | Максимум рік      |

Після аналізу обираємо альтернативу **Загарбник**. Проводитимися пошук великої фірми, яка б могла б спонсорувати наш проект.

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми – адекватне комбінування напрямів та шляхів розв'язання проблеми, всебічне просування власного бренду, неупинна праця над якістю, екологічністю та енергомічністю товару.

### 8.5 Розроблення ринкової стратегії ринку

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, таблиця 8.14, [47].

Таблиця 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

| Опис профілю<br>цільової групи<br>потенційних клієнтів | Готовність<br>споживачів<br>сприйняти<br>продукт | Орієнтовний<br>попит в<br>межах<br>цільової<br>групи<br>(сегменту) | Інтенсив-<br>ність<br>конкурен-<br>ції в<br>сегменті | Прос-<br>тота<br>входу<br>у сег-<br>мент |
|--|--|--|--|--|
|--|--|--|--|--|

Продовження таблиці 8.14

|   |  |  |        |                               |
|---|--|--|--------|-------------------------------|
| Підприємства, що використовують у своєму виробництві очищене води<br>І підприємства доставки чистої води. | Визначатиметься готовністю підприємств піти на додаткові витрати пов'язані з впровадженням чи імплементації ідеї проекту | Залежатиме від рівня, темпів розвитку економіки і галузей – споживачів зокрема, а також рівня і характеру підтримки іноваційного підприємства зі сторони держави | Низька | Високі бар'єри входу на ринок |
|---|--|--|--------|-------------------------------|

Обрано наступні цільові групи: підприємства, що займаються водопідготовкою різних рівнів.

За результатами аналізу профілю групи споживачів, було визначено цільові групи, таблиця 8.14, для яких пропонується стратегія диференційованого маркетингу [47]. Для роботи в обраних сегментах ринку було сформовано базову стратегію розвитку, таблиця 8.15 [47].

Таблиця 8.15 - Визначення базової стратегії розвитку

| Обрана альтернатива розвитку проекту | Стратегія охоплення ринку  | Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи   | Базова стратегія розвитку |
|--------------------------------------|----------------------------|--|---------------------------|
| Ринкове позиціонування               | Диференційований маркетинг | Передбачає надання послуг важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять послугу відмінною від послуг конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях послуг, бути реальною або уявною. | Стратегія диференціації   |

Отже, для роботи в обраному сегменті ринку було обрано стратегію диференціації, яка дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.16, [47].

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 145  |

Таблиця 8.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Чи є проект<br>«першопрохідцем»<br>на ринку? | Чи буде компанія<br>шукати нових<br>споживачів, або<br>забирати<br>існуючих у<br>конкурентів? | Чи буде<br>компанія<br>копіювати<br>основні<br>характеристики<br>товару<br>конкурента, і<br>які? | Стратегія<br>конкурентної<br>поведінки |
| Ні   | Передбачається<br>розвиток ринку  | Ні   | Стратегія<br>наслідування<br>лідера    |

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, таблиця 8.4, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку, таблиця 8.14, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.15, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 5.16, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект [47].

Таблиця 8.16 - Визначення стратегії позиціонування

|  |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| Вимоги до товару<br>цільової аудиторії             | Базова стратегія<br>розвитку | Ключові<br>конкурентоспроможні позиції<br>власного стартап-проекту |
| Підвищення<br>ефективності,<br>енергоефективності. | Стратегія<br>диференціації   | Ефективність,<br>енергоефективність                                |

В результаті виконання даного підрозділу було узгоджено систему рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку

## 8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.17 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [47].

Таблиця 8.17 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| Потреба   | Вигода, яку пропонує товар                    | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити) |
|---|---|--|
| Підвищення ефективності регенерації мембранних модулів, енергоефективності. | Ефективність регенерації, енергоефективність. | Ефективність регенерації, Енергоефективність, екологічність                  |

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.

Таблиця 8.18 - Опис трьох рівнів моделі товару

| Рівні товару        | Сутність та складові   |
|---------------------|--|
| I. Товар за задумом | Опис базової потреби, яку задовольняє товар.<br>Більший час експлуатації мембран споживачами за рахунок багаторазової регенерації гідродинамічним способом, що дає змогу клієнтам економити<br>Створення унікальної технології регенерації мембранних рулонованих модулів з дотриманням всіх ГОСТів та ДСТУ. |

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 147  |

### Продовження таблиці 8.18

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| II Товар у реальному виконанні | Модернізація існуючої технології регенерації мембранних рулонованих модулів.<br>Дотримання стандартів та норм.              |
| III. Товар із підкріпленням    | Створення різних видів послуг: консалтингові послуги, проведення аналізу забруднень і надання рекомендацій по експлуатації. |

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 8.19). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 8.19 - Визначення меж встановлення ціни

| Рівень цін на послуги-замінники  | Рівень цін на товари-аналоги   | Рівень доходів цільової групи споживачів         | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|--|--|--|---|
| Відповідно до розміру мембран, ціна на регенерацію варіюється від 400 до 900 грн/штука | Відповідно до розміру мембран, ціна на нове обладнання від 800 до 1200 грн/штука | Промисловий ринок залежить від замовлення послуг | Ціна на товари нижча ніж в конкурентів                  |

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8. 20).

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 148  |



Таблиця 8.20 - Формування системи збуту

| Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів | Функції збуту, які має виконувати постачальник послуг | Глибина каналу збуту                               | Оптимальна система збуту |
|---|---|--|--------------------------|
| Закупівля оптом                                     | Якість послуги, швидкість перевезення до клієнта      | Нульовий рівень. Адже використовуються власні сили | Власні сили              |

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту).

Останньою і основною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, таблиця 8.21, [47].

Таблиця 8.21 - Концепція маркетингових комунікацій

|                                       |  |  |                                  |                                |
|---------------------------------------|--|--|----------------------------------|--------------------------------|
| Специфіка поведінки цільових клієнтів | Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти | Ключові позиції, обрані для позиціонування | Завдання рекламного повідомлення | Концепція рекламного звернення |
|---------------------------------------|--|--|----------------------------------|--------------------------------|

Продовження таблиці 8.21

|  |  |   |  |                          |
|--|--|---|--|--------------------------|
| Цільові клієнти орієнтовані на використання вузько-спеціалізованих комунікацій, що визначаються галузевими особливостями їх приналежності. | Інтернет, виставки, семінари, друкована продукція. | Спеціалізовані виставки.<br>Присвячені технологіям очистки води: «Фильтры и технологии очистки воды», «AquaPro», «Aqua Ukraine» | Привернути увагу до унікальності ідеї стартапу | «Рушійна сила інновацій» |
|--|--|---|--|--------------------------|

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

## 8.7 Висновки

– Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 150  |

– Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший;

– Наявність попиту, що визначається потребою підвищення ефективності, енергоефективності, свідчить про можливість ринкової комерціалізації проекту;

– Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінки рівня та динаміки конкуренції в базовій та спорідненій галузях, дозволяють стверджувати про перспективи створення та розвитку стартап-проекту.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 151  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## Висновок

У дисертації магістра на тему «Модернізація гібридної установки для знесолення морської води з використанням дистиляції та зворотнього осмосу» вирішена важлива науков-технічна проблема.

В роботі експериментально підтверджено гіпотези щодо лінійної залежності опору шару концентраційної поляризації від робочого тиску не лише для розчинів хлориду натрію, а й для інших мінеральних солей, проведені експериментальні дослідження та визначена розрахункова залежність, вдосконалено схему системи зворотнього осмосу та отримано патент на корисну модель «Система зворотнього осмосу».

Проведено опис технологічного процесу очистки води, підібрані апарат зворотного осмосу, теплообмінник, вибрано технічні характеристики цих апаратів, обґрунтовано обрані конструкції апаратів, проведено патентний пошук, розроблені заходи, що до вимог охорони праці, проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність установки та апаратів, один розрахунок виконаний у вигляді програм з описом методик розрахунків, подано рекомендації з монтажу та експлуатації, розроблено стартап проект, оцінено рівень стандартизації та уніфікації розроблюваних апаратів, проведено розробку технологічного процесу виготовлення деталі (трубна решітка) та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

Графічна частина складається з восьми креслень формату А1 і двох плакатів формату А1. Виконані креслення схеми установки очистки води, функціональна схема автоматизації, складальні креслення апарату зворотного осмосу та його корпусу, креслення теплообмінного апарату та його корпус, деталі “трубна решітка” та кондуктора для свердління отворів. До складальних креслень складено специфікації. Також виконані плакати до наукової частини роботи.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 152  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

За період виконання магістерської дисертації зроблені 5 доповідей на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях, стаття англійською мовою в фаховому науковому виданні категорії Б, яке входить до міжнародних наукометричних баз даних, зокрема DOAJ, а також отримано Патент України на корисну модель «Система зворотнього осмосу».

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 153  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## Вывод

В диссертации магистра на тему «Модернизация гибридной установки для обессоливания морской воды с использованием дистилляции и обратного осмоса» решена важная научно-техническая проблема.

В работе экспериментально подтверждена гипотезы о линейной зависимости сопротивления слоя концентрационной поляризации от рабочего давления не только для растворов хлорида натрия, но и для других минеральных солей, проведены экспериментальные исследования и определена расчетная зависимость, усовершенствована схема системы обратного осмоса и получен патент на полезную модель «система обратного осмоса».

Проведено описание технологического процесса очистки воды, подобраны аппарат обратного осмоса, теплообменник, выбраны технические характеристики этих аппаратов, обоснованно выбраны конструкции аппаратов, проведен патентный поиск, разработаны мероприятия, требованиям охраны труда, проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность установки и аппаратов, один расчет выполнен в виде программ с описанием методик расчетов, даны рекомендации по монтажу и эксплуатации, разработаны стартап проект, оценен уровень стандартизации и унификации разрабатываемых аппаратов, проведена разработка технологического процесса изготовления детали (трубная решетка) и схемы автоматического управления технологическим процессом установки.

Графическая часть состоит из восьми чертежей формата А1 и двух плакатов формата А1. Выполнены чертежи схемы установки очистки воды, функциональная схема автоматизации, сборочные чертежи аппарата

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 154  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

обратного осмоса и его корпуса, чертежи теплообменного аппарата и его корпус, детали "трубная решетка" и кондуктора для сверления отверстий. К сборочных чертежей составлен спецификации. Также выполнены плакаты к научной части работы.

За период выполнения магистерской диссертации сделаны 5 докладов на всероссийских и международных научных конференциях, статья на английском языке в научном издании категории Б, которое входит в международных наукометрических баз данных, в частности DOAJ, а также получен Патент Украины на полезную модель «Система обратного осмоса»

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 155  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## Conclusion

In the Master's thesis on the topic " Development of membrane apparatus and heat exchanger for modernization of hybrid distillation and membrane water desalination plant ", reforming unit has been modernized.

The diploma project confirms the hypothesis regarding the linear dependence of the resistance of the concentration polarization layer on the working pressure not only for solutions of sodium chloride, but also for other mineral salts, carried out experimental studies and determined the dependence, improved the scheme of the reverse osmosis system and obtained a patent for utility model reverse osmosis. "

The description of the technological process of water purification, the reverse osmosis apparatus, the heat exchanger are selected, the technical characteristics of these devices are selected, the designs of the devices are substantiated, the patent search is carried out, the measures have been developed, the requirements for labor protection, the calculations confirming the efficiency and reliability of the installation have been carried out one calculation is made in the form of programs with description of calculation methods, recommendations on installation and operation are given, the startup project is developed, the standardization level and the identification of the developed apparatus, the technological process of manufacturing the part (pipe grate) and the scheme of automatic control of the technological process of the installation are given.

The graphic part consists of eight A1-format drawings and two A1-format posters. Drawings of the scheme of installation of water purification, functional scheme of automation, assembly drawings of the reverse osmosis apparatus and its housing, drawings of the heat exchanger and its housing, details of the "tube grate" and the conductor for drilling holes have been done. Specifications are drawn up for the drawing drawings. Posters for the scientific part of the work were also made.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 156  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



During the period of the Master's thesis, 5 papers were presented at national and international scientific conferences, an article in English in a professional scientific publication of category B, which is included in international scientometric databases, in particular DOAJ, and also the Patent of Ukraine for the utility model "Reverse Osmosis System" has been resived.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | ЛН81мп.066619.001 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 157  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |